



TESIS - TE142599

DESAIN DAN IMPLEMENTASI PHOTOVOLTAIC SINGLE STAGE INVERTER DENGAN MAXIMUM POWER POINT TRACKING BERBASIS ARTIFICIAL NEURAL NETWORK TERHUBUNG KE SISTEM JALA-JALA

BAYU PRASETYO
07111250010001

DOSEN PEMBIMBING
Prof. Dr. Ir. Mochamad Ashari, M.Eng
Dedet Candra Riawan ST., M.Eng., Ph.D

PROGRAM MAGISTER
BIDANG KEAHLIAN TEKNIK SISTEM TENAGA
DEPARTEMEN TEKNIK ELEKTRO
FAKULTAS TEKNOLOGI ELEKTRO
INSTITUT TEKNOLOGI SEPULUH NOPEMBER
SURABAYA
2018

LEMBAR PENGESAHAN

Tesis disusun untuk memenuhi salah satu syarat memperoleh gelar
Magister Teknik (M.T)
di
Institut Teknologi Sepuluh Nopember

oleh:

Bayu Prasetyo
NRP. 07111250010001

Tanggal Ujian : 10 Juli 2018
Periode Wisuda : September 2018

Disetujui oleh:

1. Prof. Dr. Ir. Mochamad Ashari, M.Eng. (Pembimbing I)
NIP: 196510121990031003
2. Dedet Candra Riawan, S.T., M.Eng., Ph.D. (Pembimbing II)
NIP: 197311192000031001
3. Dr. Dimas Anton Asfani, S.T., M.T. (Penguji)
NIP: 198109052005011002
4. Dr. Ir. Margo Pujiantara, M.T. (Penguji)
NIP: 196603181990101001
5. Vita Lystianingrum Budiharto Putri, S.T., M.Sc., Ph.D. (Penguji)
NIP: 198208292006042001

Dekan Fakultas Teknologi Elektro



Dr. Tri Arief Sardjono, S.T., M.T.
NIP. 197002121995121001

PERNYATAAN KEASLIAN TESIS

Dengan ini saya menyatakan bahwa isi keseluruhan Tesis saya dengan judul “ **DESAIN DAN IMPLEMENTASI PHOTOVOLTAIC SINGLE STAGE INVERTER DENGAN MAXIMUM POWER POINT TRACKING BERBASIS ARTIFICIAL NEURAL NETWORK TERHUBUNG KE SISTEM JALA-JALA** ” adalah benar-benar hasil karya intelektual mandiri, diselesaikan tanpa menggunakan bahan-bahan yang tidak diijinkan dan bukan merupakan karya pihak lain yang saya akui sebagai karya sendiri.

Semua referensi yang dikutip maupun dirujuk telah ditulis secara lengkap pada daftar pustaka. Apabila ternyata pernyataan ini tidak benar, saya bersedia menerima sanksi sesuai peraturan yang berlaku.

Surabaya, 1 Mei 2018



Bayu Prasetyo

NRP. 07111250010001

DESAIN DAN IMPLEMENTASI PHOTOVOLTAIC SINGLE STAGE INVERTER DENGAN MAXIMUM POWER POINT TRACKING BERBASIS ARTIFICIAL NEURAL NETWORK TERHUBUNG KE SISTEM JALA-JALA

Nama mahasiswa : Bayu Prasetyo
NRP : 07111250010001
Pembimbing : 1. Prof. Dr. Ir. Mochamad Ashari, M.Eng
2. Dedet Candra Riawan ST., M.Eng., Ph.D

ABSTRAK

Sistem pembangkit PV yang terhubung ke grid merupakan system yang terpasang pada daerah yang terjangkau transmisi dari system pembangkit konvensional. System ini digunakan sebagai penunjang dari system pembangkit konvensional, yang berfungsi ketika system pembangkit PV dapat menghasilkan daya listrik. Jika ada daya dari PV maka daya disuplai dari pembangkit PV, sebaliknya ketika ada periode kehilangan atau kekurangan daya listrik dari system pembangkit PV, maka daya disuplai dari pembangkit konvensional. Dengan fungsi pembangkit PV sebagai penunjang pembangkit konvensional, maka dapat mengurangi pemakaian bahan bakar yang digunakan oleh pembangkit konvensional. Secara umum system ini membutuhkan DC-DC converter untuk melakukan proses buck boost tegangan yang dihasilkan oleh PV, MPPT untuk menghasilkan daya yang maksimum, dan DC/AC converter untuk mengkonversi daya DC menjadi AC sebelum dihubungkan ke grid. Penggunaan two stage converter dapat menyebabkan efisiensi dari system berkurang, sehingga untuk mengatasi hal tersebut maka dikembangkan topologi single stage converter pada system pembangkit PV yang terhubung ke grid. Single stage converter, merupakan suatu topologi yang menggunakan satu inverter sebagai penghubung dari system PV ke grid yang memiliki fungsi sebagai MPPT sekaligus konversi daya DC-AC. Topologi single stage converter lebih dikenal dengan single stage inverter, karena converter yang digunakan adalah inverter

Kata kunci : Photovoltaic (PV), maximum power point tracking (MPPT), Single Stage Inverter, grid connected

DESIGN AND IMPLEMENTATION PHOTOVOLTAIC SINGLE STAGE INVERTER WITH MAXIMUM POWER POINT TRACKING BASED ON ARTIFICIAL NEURAL NETWORK CONNECTED TO GRID

By : Bayu Prasetyo
Student Identity Number : 07111250010001
Supervisor(s) : 1. Prof. Dr. Ir. Mochamad Ashari, M.Eng
2. Dedet Candra Riawan ST., M.Eng., Ph.D

ABSTRACT

Photovoltaic system that connected to grid is a system which applied for an area that can be reach by transmission line. This system as a support for conventional generating system. If there is a power from PV system, then power demand supplied from photovoltaic generating system. Otherwise, power demand supplied from conventional generating system. As a support conventional generating system, there is many methods to convert photo energy into AC system that connected to grid. One of conventional methods is a two stage inverter, this methods need two process to convert photovoltaic into AC system. First stage, conversion photovoltaic power to DC system. In this stage, PV processed by buck boost converter. Second stage, that DC power from first stage changed into AC power system. This two stage process has low efficiency, so we try to make the process simply and more efficiency. New method called single stage inverter can be applied. With this methods, conversion DC power system from PV can be done by single stage process. From this single process, we expect that more efficiency can be achieved. The switching strategy of Single Stage Inverter itself depends on topology that we used. Switching strategy of single stage inverter itself also depends on hardware that we use, we can use analog or digital system to control the switching device.

Keywords—Photovoltaic (PV), maximum power point tracking (MPPT), Single Stage Inverter, grid connected

KATA PENGANTAR

Alhamdulillah, segala puji syukur penulis panjatkan kehadirat Allah SWT, atas segala karunia dan ridho-NYA, sehingga tesis dengan judul “*Desain dan Implementasi Photovoltaic Single Stage Inverter dengan Maximum Power Point Tracking Berbasis Artificial Neural Network Terhubung Ke Sistem Jala-Jala*” ini dapat diselesaikan. Tesis ini disusun untuk memenuhi salah satu persyaratan memperoleh gelar Magister Teknik (M.T.) dalam bidang keahlian Teknik Sistem Tenaga pada program studi Teknik Elektro Institut Teknologi Sepuluh Nopember Surabaya.

Surabaya, 1 Mei 2018

Penulis

DAFTAR ISI

LEMBAR PENGESAHAN.....	iii
PERNYATAAN KEASLIAN TESIS.....	vi
ABSTRAK.....	viii
ABSTRACT.....	xi
KATA PENGANTAR.....	xiv
DAFTAR ISI.....	xvi
DAFTAR GAMBAR.....	xix
DAFTAR TABEL.....	xxi
BAB 1 PENDAHULUAN.....	1
1.1 Latar Belakang.....	1
1.2 Perumusan Masalah.....	2
1.3 Tujuan Penelitian.....	2
1.4 Batasan Masalah.....	3
1.5 Kontribusi Penelitian.....	3
BAB 2 SISTEM PEMBANGKIT <i>PHOTOVOLTAIC</i>	5
2.1 <i>Photovoltaic (PV)</i>	6
2.2 <i>SSSP Inverter</i>	7
2.2.1 <i>SSSP Inverter</i> dengan Operasi <i>DCM</i>	9
2.2.2 <i>SSSP Inverter</i> dengan Operasi <i>CCM</i>	12
2.2.3 Desain Komponen <i>SSSP Inverter</i> untuk Operasi <i>DCM</i>	13
2.3 MPPT pada Sistem Pembangkit <i>PV</i> Terhubung <i>Grid</i>	15
2.3.1 <i>MPPT</i>	15
2.3.2 <i>ANN</i>	17
2.3.3 Kontrol <i>MPPT</i> Menggunakan <i>ANN</i>	19
2.3.4 Kontrol Sistem Pembangkit <i>PV</i> Terhubung ke <i>Grid</i>	20
BAB 3 DESAIN <i>SINGLE STAGE INVERTER</i> TERHUBUNG <i>GRID</i>	21
3.1 Desain <i>PV Array</i>	21
3.2 Desain <i>SSSP Inverter</i>	23
3.3 Desain <i>ANN MPPT</i>	24
3.4 Desain Sistem Keseluruhan.....	25

BAB 4 SIMULASI SISTEM DAN ANALISA DATA.....	27
4.1 Simulasi Model PV Array	27
4.2 Simulasi Kontrol ANN MPPT.....	30
4.3 Simulasi Rangkaian Inverter... ..	32
4.3.1 Rangkaian Switching.....	32
4.3.2 Rangkaian Sinusoidal Pulse Width Modulation (SPWM).....	33
4.3.3 Signal pada ILBB1 dan ILBB.....	35
4.3.4 Tegangan Output Inverter.....	36
4.4 Simulasi Sistem keseluruhan.....	37
BAB 5 PENUTUP	41
DAFTAR PUSTAKA	43
LAMPIRAN	

DAFTAR GAMBAR

Gambar 2.1 Sistem Pembangkit <i>PV</i>	6
Gambar 2.2 Rangkaian <i>SSSP Inverter</i>	8
Gambar 2.3 Bentuk Gelombang Arus Induktor.....	9
Gambar 2.4 Gambar Aliran Arus pada Rangkaian <i>SSSP Inverter</i>	11
Gambar 2.5 Arus Induktor yang Mengalir Mengikuti Referensi dalam Batas Pita Hysterisis.....	12
Gambar 2.6 Karakteristik I-V dan P-V dari <i>PV Array</i> pada Iradiasi dan Temperatur yang Berbeda dengan Beban Resistif R1 dan R2.....	16
Gambar 2.7 Sistem Kontrol <i>MPPT</i> pada <i>PV Array</i>	17
Gambar 2.8 Prinsip Kerja <i>Artificial Neuron</i>	17
Gambar 2.9 Topologi <i>ANN</i>	18
Gambar 2.10 Blok Struktur <i>ANN</i> untuk <i>MPPT</i>	19
Gambar 3.1 Kurva I-V dan Kurva P-V dengan iradiasi 1000 W/m ² dan temperature 25°C.....	22
Gambar 3.2 Model <i>SSSP Inverter</i>	24
Gambar 3.3 Blok Diagram <i>ANN</i> pada <i>Simulink Matlab</i>	25
Gambar 3.4 Blok Diagram Sistem Keseluruhan.....	26
Gambar 4.1 Hasil Simulasi Model PV dengan perubahan iradiasi 100w/m ² (step 100 W/m ²) dan temperature konstan.....	28
Gambar 4.2 Hasil Simulasi Model PV dengan perubahan temperature 20°C hingga 40°C dan iradiasi konstan 1000W/m ² dan temperature konstan.....	29
Gambar 4.3 <i>Output</i> kontrol ANN MPPT.....	31
Gambar 4.4 Simulasi dari Sp2 dan Sn2.....	32
Gambar 4.5 Output dari signal jala-jala ketika melalui rangkaian Zero Crossing Detector.....	32
Gambar 4.6 Output Komplemen.....	33
Gambar 4.7 Simulasi dari signal <i>carrier</i> dan signal <i>fullwave</i>	33
Gambar 4.8 Output Sinyal <i>fullwave</i>	34
Gambar 4.9 Output Sinyal <i>carrier</i>	34

Gambar 4.10 Output Sinyal SPWM.....	34
Gambar 4.11 Simulasi dari arus inductor Buck Boost.....	35
Gambar 4.12 Output dari inductor Buck Boost.....	35
Gambar 4.13 Simulasi <i>Output dari inverter</i>	36
Gambar 4.14 Output tegangan dari SSSP Inverter.....	36
Gambar 4.15 Simulasi output sinyal arus dari I_L	37
Gambar 4.16 Output sinyal arus dari I_L	37
Gambar 4.17 Grafik perubahan temperatur dan iradiasi.....	38
Gambar 4.18 Arus pada LBB.....	38
Gambar 4.18 Arus pada LBB.....	38
Gambar 4.19 Perubahan daya output pada Inverter.....	39

DAFTAR TABEL

Tabel 3.1 Spesifikasi Parameter PV BELL SL-50 CE.....	21
Tabel 3.2 Kombinasi PV BELL SL-50 pada iradiasi 1000 W / m ² dan temperatur 25°C.....	22
Tabel 3.3 Komposisi data input dan output ANN MPPT	25
Tabel 4.1 Hasil simulasi model PV dengan perubahan iradiasi 100 W/m ² hingga 1000 W/m ² (step 100 W/m ²) dan temperatur konstan 25°C.....	28
Tabel 4.2 Hasil simulasi model PV dengan perubahan temperatur 20°C hingga 40°C dan iradiasi konstan 1000 W/m ²	30
Tabel 4.3 Hasil Training ANN MPPT	30
Tabel 4.4 Kinerja Kontrol ANN MPPT	31

BAB 1

PENDAHULUAN

1.1. Latar Belakang

Kebutuhan listrik Indonesia terus meningkat sejalan dengan peningkatan pertumbuhan penduduk dan perekonomian nasional. Kebutuhan listrik nasional mencapai rata-rata 9,2% per tahun, pada 2027 kebutuhan listrik mencapai 813 TWh dan diperlukan kapasitas pembangkit sebesar 187 GW [1]. Hampir 90% pembangkit skala besar masih menggunakan PLTD dan PLTU dengan energi primer (batu bara, minyak dan gas) sebagai bahan bakarnya, sedangkan sisanya dari energi baru terbarukan (EBT) yaitu air (PLTA) dan panas bumi (PLTP).

Dalam Kebijakan Energi Nasional [2], menjelaskan bahwa penggunaan energi terbarukan untuk pembangkit tenaga listrik pada tahun 2025 sekurang-kurangnya 17% menggunakan energi yang berasal dari EBT antara lain: panas bumi, biomassa, air, angin, surya dan energi terbarukan lainnya. Pemanfaatan energi surya di Indonesia sangat tepat, karena potensi energi suryanya sangat signifikan, dengan besar iradiasi matahari rata-rata 4,8 kWh/m²/hari [3].

Pada saat ini, Penggunaan Pembangkit listrik Tenaga Surya (PLTS) telah berkembang pesat, tetapi penggunaannya masih pada sistem yang terpisah (*stand alone*). Sehingga untuk memenuhi target kebijakan energi nasional maka sistem PLTS dapat dihubungkan ke jala-jala (*grid*). Hal ini, dapat membantu mengurangi penggunaan energi primer sebagai pemasok energi utama sistem kelistrikan.

Ada beberapa cara untuk mengkonversi energi surya menjadi listrik, yang sering digunakan adalah dengan mengkonversi energi surya langsung menjadi listrik dengan menggunakan sistem *Photovoltaic* (PV). Tetapi, sistem PV ini memiliki efisiensi yang rendah, dimana daya yang dihasilkan tergantung dari iradiasi dan suhu pada modul PV. Untuk mengatasi ini, diperlukan tahap untuk mengoptimalkan daya PV dengan teknik Maximum Power Point Tracking (MPPT).

Kekurangan lainnya adalah biaya dari sistem PV yang bertambah jika dihubungkan ke *grid*. Hal ini disebabkan, terdapat dua tingkat konversi energi listrik, yaitu konversi DC-DC (*DC-DC Converter*) untuk MPPT dan DC-AC (*Inverter*) untuk merubah tegangan DC menjadi AC. Juga disebabkan, penggunaan

transformator sebagai isolasi galvanik. Untuk mengatasi hal ini maka digunakan *Transformerless Inverter*, yaitu topologi *inverter* pada sistem PV tanpa transformator. Sedangkan untuk mengurangi tahap konversi energi listrik, dapat digunakan *Single Stage Inverter*, yaitu topologi *inverter* pada sistem PV dengan dua fungsi untuk MPPT dan konversi DC-AC.

Dari sekian banyak metode MPPT, diantaranya adalah *hill climbing method*, *perturb and observe method*, *incremental conductance method*, *constant voltage method*, β *method* maka dipilih metode MPPT menggunakan *artificial neural network* (ANN) karena kemampuan dari ANN dalam mengolah sejumlah nilai data input dan memberikan nilai mendekati output pada kondisi sebenarnya. Dengan kemampuan tersebut, maka diharapkan proses *tracking* dari MPPT bisa lebih cepat. Pada penelitian ini, topologi ANN yang digunakan adalah *Feed Forward Neural Network* (FNN) dengan *multi layer perceptron*, dan teknik *learning* yang digunakan adalah *supervised learning*, dengan model *lavenberg-marquardt backpropagasi*.

Efisiensi dari *inverter* dapat ditingkatkan dengan mengoperasikan pada mode DCM (*Discontinuous Conducting Mode*). Dimana pada mode ini, *losses* dari *switching* dapat dikurangi dan puncak dari arus yang melewati komponen induktor juga berkurang.

Dari pembahasan di atas, maka pada penelitian ini didesain metoda untuk meningkatkan efisiensi sistem PV terhubung grid melalui *single stage inverter* dengan operasi DCM dengan sistem kontrol MPPT menggunakan *artificial neural network* (ANN).

1.2. Perumusan Masalah

Permasalahan yang dibahas pada penelitian ini adalah :

1. Pengurangan tingkat konversi energi listrik pada sistem PV yang terhubung *grid*.
2. Metoda teknik MPPT untuk mendapatkan daya output yang maksimum dari sistem PV dengan cepat dan handal.
3. Mode operasi *switching inverter* untuk mengurangi *losses switching* dan puncak arus .

1.3. Tujuan Penelitian

Penelitian ini bertujuan untuk menyelesaikan permasalahan pada sistem PV yang terhubung *grid*:

1. Penggunaan topologi *Single Stage Inverter* pada sistem PV terhubung *grid*, untuk mengurangi tingkat konversi energi listrik.
2. Penggunaan ANN sebagai teknik MPPT untuk mendapatkan daya output yang maksimum dari sistem PV.
3. Penggunaan mode operasi DCM pada *switching inverter* yang terhubung dengan jala - jala

1.4. Batasan Masalah

Untuk memudahkan penelitian dan mendapatkan hasil yang baik maka dalam penelitian ini ditetapkan beberapa batasan masalah, antara lain:

1. Komponen di dalam sistem PV terhubung *grid* diasumsikan ideal.
2. Hasil pengujian sistem yang dianalisis merupakan keadaan *steady state*.

1.5. Kontribusi Penelitian

Penelitian ini diharapkan memberikan kontribusi terhadap perkembangan sistem pembangkit listrik surya, khususnya pada PLTS dengan kapasitas kecil yang akan dihubungkan ke *grid*. Melalui penerapan topologi *single stage inverter* serta teknik MPPT dan mode operasi *switching inverter* yang diusulkan dapat diterapkan pada sistem pembangkit yang menggunakan EBT lainnya. Hasil penelitian ini juga, dapat dijadikan referensi untuk memenuhi kebijakan energi nasional Indonesia, sehingga tidak hanya pembangkit listrik dengan skala besar yang menjadi prioritas, tetapi juga untuk pembangkit listrik skala kecil yang menggunakan EBT.

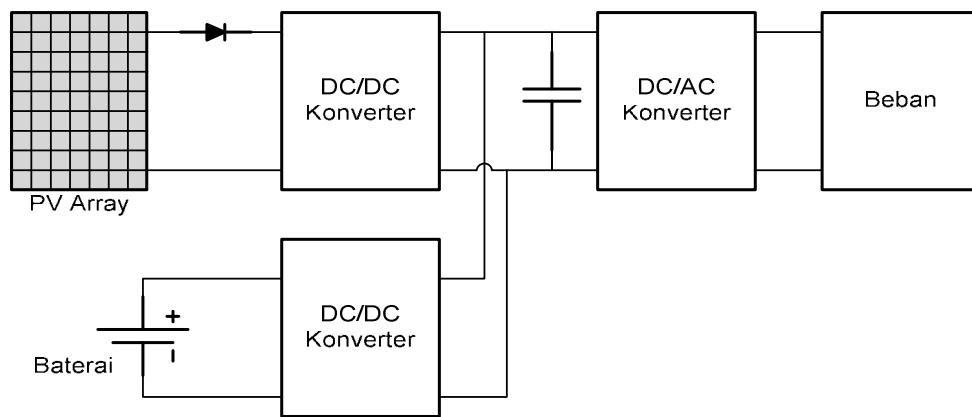
BAB 2

SISTEM PEMBANGKIT *PHOTOVOLTAIC*

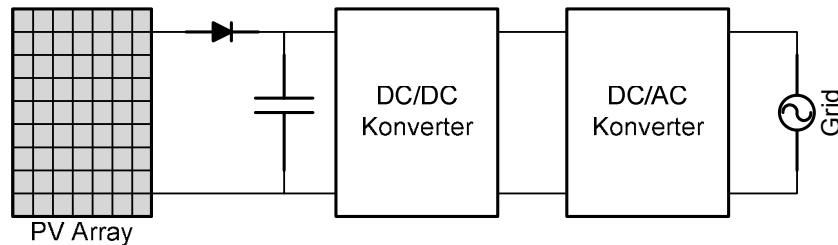
Sistem pembangkit PV dapat dibagi dua macam, yaitu sistem yang beroperasi sendiri (*stand alone*) dan yang terhubung ke *grid*. Sistem *stand alone* merupakan sistem pembangkit PV yang beroperasi sendiri ketika saluran transmisi dari sistem pembangkit konvensional kesulitan menjangkau daerah tertentu. Seperti yang ditunjukkan pada gambar 2.1(a), sistem *stand alone* membutuhkan baterai sebagai tempat penyimpanan energi yang berfungsi untuk menyuplai daya beban selama periode kehilangan atau kekurangan daya dari pembangkit PV. Sistem ini membutuhkan beberapa konverter sebelum mensuplai beban yaitu 2 buah DC/DC konverter untuk MPPT dari PV panel dan untuk mengatur *charging* dan *discharging* dari baterai, dan terdapat DC/AC konverter untuk merubah dari daya DC menjadi AC sebelum disuplai ke beban.

Sistem pembangkit PV yang terhubung ke *grid* merupakan sistem pembangkit PV yang terpasang pada daerah yang terjangkau saluran transmisi dari sistem pembangkit konvensional, sistem ini digunakan sebagai penunjang dari sistem pembangkit konvensional. Dengan menghubungkan sistem pembangkit PV ke jala-jala (*grid*) dari pembangkit konvensional maka bahan bakar yang digunakan oleh pembangkit konvensional dapat dikurangi. Pada sistem ini, ketika periode kehilangan atau kekurangan daya pada sistem pembangkit PV maka daya disuplai dari pembangkit konvensional, sebaliknya ketika sistem pembangkit PV dapat menghasilkan daya, maka daya disuplai dari pembangkit PV. Pada gambar 2.1 (b), secara umum, sistem ini membutuhkan DC/DC konverter untuk MPPT sehingga PV panel menghasilkan daya yang maksimum dan DC/AC konverter untuk merubah daya DC menjadi AC sebelum dihubungkan ke *grid*.

Kedua sistem pembangkit PV, baik *stand alone* maupun yang terhubung *grid*, memerlukan teknik MPPT untuk mendapatkan daya maksimum, karena daya dari sistem pembangkit PV sangat dipengaruhi oleh *iradiasi* dan temperatur.



a. Sistem Pembangkit PV *Stand Alone*



b. Sistem Pembangkit PV Terhubung *Grid*

Gambar 2.1 Sistem Pembangkit PV

2.1 Photovoltaic (PV)

Photovoltaic merupakan suatu sumber energi listrik yang memanfaatkan cahaya matahari sebagai sumber energi dan diubah menjadi listrik. Pada kenyataannya *photovoltaic* juga merupakan sumber energi yang ramah lingkungan dan sangat menjanjikan pada masa yang akan datang, karena tidak adanya polusi yang dihasilkan selama proses konversi energi dan berlimpahnya sumber energi matahari yang berasal dari alam, terlebih di negeri tropis semacam Indonesia yang menerima sinar matahari sepanjang tahun. Cara kerja *photovoltaic* sendiri sebenarnya identik dengan piranti semikonduktor dioda. Ketika cahaya menyinari *photovoltaic* dan diserap oleh bahan semikonduktor bertipe p dan n (*p-n junction semiconductor*), maka terjadi pelepasan elektron. Apabila mengalir pada bahan semi-konduktor pada lapisan yang berbeda maka akan terjadi perubahan sigma gaya pada bahan. Gaya tolakan antar bahan semi-konduktor akan menyebabkan aliran medan listrik, sehingga akan terbangkit arus DC.

Perkembangan pembuatan PV mengalami kemajuan dari berbagai jaman. Hal ini dipengaruhi oleh bahan-bahan pembuatan sel-sel tersebut. Adapun bahan-bahan yang dipakai antara lain sebagai berikut [4]:

a. *Mono-crystalline* (Si)

Dibuat dari silikon kristal tunggal yang didapat dari peleburan silikon dalam bentuk bujur. Sekarang *Mono-crystalline* dapat dibuat setebal 200 mikron, dengan nilai efisiensi sekitar 24%.

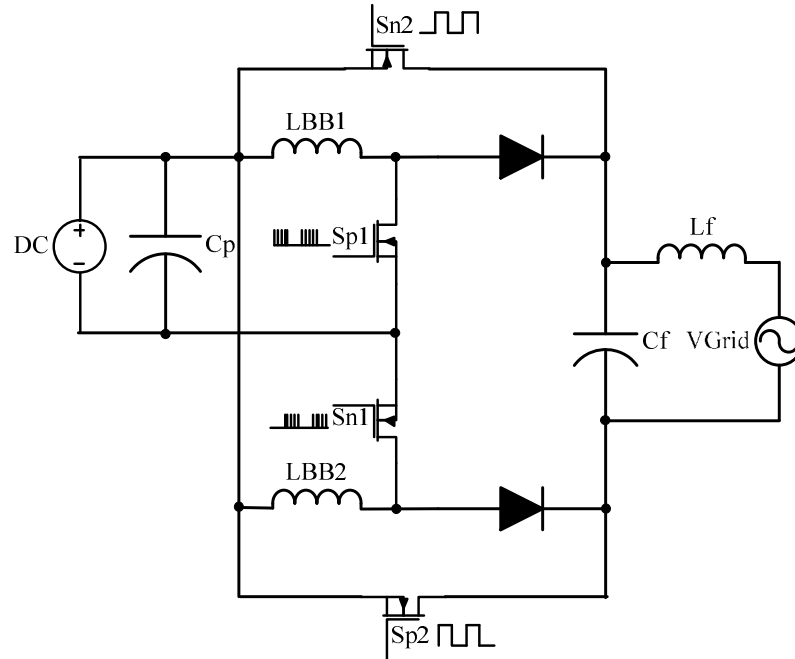
b. *Poly-crystalline/Multi-crystalline* (Si)

Dibuat dari peleburan silikon dalam tungku keramik, kemudian pendinginan perlahan untuk mendapatkan bahan campuran silikon yang akan timbul di atas lapisan silikon. Sel ini kurang efektif dibanding dengan sel *Poly crystalline* (efektifitas 18%), tetapi biaya lebih murah. Terdapat beberapa kelebihan dan kekurangan yang dimiliki oleh PV. Kelebihan-kelebihan tersebut diantaranya:

1. Membutuhkan waktu yang singkat dalam perencanaan, instalasi, dan pembuatan *plant* baru.
2. Bersifat modular (modul-modul), sehingga praktis.
3. Pemakaian daya mudah disesuaikan dengan kebutuhan.
4. Mempunyai life time yang lama dan perawatan yang mudah

2.2 SSSP Inverter

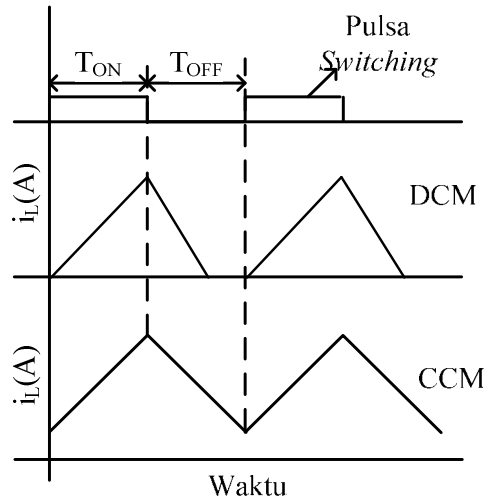
Single Stage System Photovoltaic Inverter (SSSP *Inverter*) merupakan system yang kita gunakan saat ini. Rangkaian SSSP *inverter* pada dasarnya dibentuk dari dua rangkaian *Buck-Boost* konverter yang dipasang anti parallel, seperti yang ditunjukkan gambar 2.2. *Inverter* ini berfungsi sebagai *Current Source Inverter* (CSI), karena komponen penyimpanan energi sementara dari *inverter* menggunakan induktor. *Inverter* ini terdiri dari empat MOSFET (S_{p1} , S_{p2} , S_{n1} , S_{n2}) yang berfungsi sebagai *switch* dan dua induktor (L_{BB1} , L_{BB2}) sebagai penyimpan energi sementara. Rangkaian ini dilengkapi filter LC (L_f , C_f) yang berfungsi sebagai filter tegangan dan arus.



Gambar 2.2 Rangkaian SSSP *Inverter*

Operasi *Switch* Sp1/Sn1 dengan frekuensi tinggi yang berfungsi untuk menaikkan atau menurunkan tegangan, sementara *switch* Sp2/Sn2 disesuaikan dengan frekuensi *grid*, dengan Sp2 tetap ON selama siklus positif dan untuk siklus negatif *switch* Sn2 dijaga ON.

Pada publikasi lainnya S. Jain dan V. Agarwal [5], menjelaskan bahwa SSSP *inverter* dapat dioperasikan dalam dua mode, jika dilihat dari bentuk gelombang arus yang melewati induktor, yaitu *Discontinuous Conducting Mode* (DCM) dan *Continuous Conducting Mode* (CCM). Pada gambar 2.3 pada saat SSSP *inverter* dioperasikan DCM, arus induktor meningkat dari nol pada saat pulsa *switching* T_{ON} dan berkurang sampai dengan nol pada saat T_{OFF} , pada mode ini terdapat kondisi arus induktor bernilai nol untuk beberapa saat sampai *switch* kembali ON. Ketika dioperasikan CCM, maka arus induktor tidak pernah mencapai nol.



Gambar 2.3 Bentuk Gelombang Arus Induktor

2.2.1 SSSP Inverter dengan operasi DCM

Untuk mengoperasikan SSSP inverter dengan DCM, maka *switch* Sp1/Sn1 diberikan pulsa SPWM (Sine Triangle Pulse Width Modulation) dan switch Sp2/Sn2 diberikan pulsa PWM dengan dengan frekuensi grid. Pada siklus positif jika gelombang sinus dari SPWM di bagi menjadi n interval, maka energi e_k yang ditransfer ke *grid* selama interval ke- k ($k \leq n$), yaitu

$$e_k = \frac{1}{2} \times L_{BB} \times i_{pk}^2 = \left(V_{pv}^2 \times M^2 \right) / \left(2 \times L_{BB} \right) \times \sin^2 \left(\pi \times k / n \right) \quad (2.1)$$

dengan $M = V_{s(p)} / V_{tri(p)}$

dimana e_k = energy yang ditransfer ke *grid*

L_{BB} = Induktor *Buck Boost*

i_{pk} = Arus *peak*

V_{pv} = Tegangan Photovoltaic

M = Index modulasi untuk SPWM

$V_{s(p)}$ = Amplitudo gelombang sinus

$V_{tri(p)}$ = Amplitudo gelombang segitiga

Pada operasi DCM terdapat tiga kondisi operasi seperti yang ditunjukkan pada gambar 2.4. Kondisi I adalah kondisi charging, yaitu kondisi pada saat switch Sp1 dalam keadaan ON dan dioda pada kondisi OFF, pada kondisi ini energi tersimpan pada induktor L_{BB} . Kondisi II adalah kondisi

discharging, yaitu kondisi pada saat switch Sp1 OFF dan kondisi dioda ON, pada kondisi ini energi yang tersimpan pada induktor LBB disalurkan ke grid. Kondisi III adalah kondisi no energy transfer, yaitu kondisi pada saat switch Sp1 dan dioda OFF, pada kondisi ini tidak ada energi yang tersimpan di induktor dan disalurkan ke grid.

Setiap kondisi dianalisa dengan menggunakan hukum Kirchoff tegangan dan arus. Kondisi I, dengan analisa arus i_{pv} menggunakan Kirchhoff Current Law (KCL) pada node 'a', analisa tegangan V_{pv} digunakan Kirchhoff Voltage Law (KVL) pada loop 'abcd', analisa arus i_g menggunakan KCL pada node 'e', Sedangkan analisa tegangan V_f di kapasitor C_f menggunakan KVL pada loop 'efgh', diperoleh

$$i_{pv} = C_p \frac{dV_{pv}}{dt} + i_L \quad (2.2)$$

$$V_{pv} = L \frac{di_L}{dt} \quad (2.3)$$

$$C_f \frac{dV_f}{dt} + i_g = 0 \quad (2.4)$$

$$V_f = L_f \frac{di_g}{dt} + V_{ac} \quad (2.5)$$

kondisi II, besarnya i_{pv} , i_g dan V_f sama seperti analisa pada kondisi I, sedangkan V_{pv} dianalisa dengan KVL pada loop 'jehi', diperoleh

$$i_{pv} = C_p \frac{dV_{pv}}{dt} \quad (2.6)$$

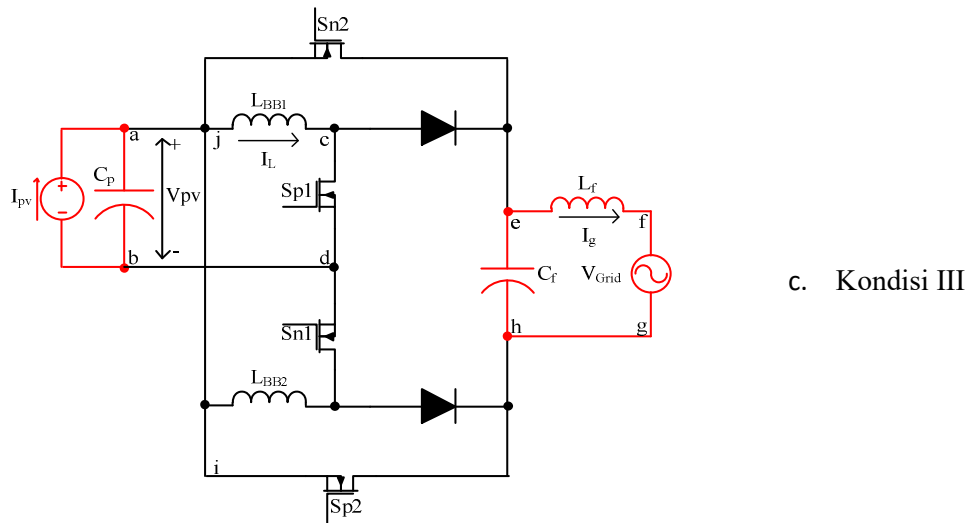
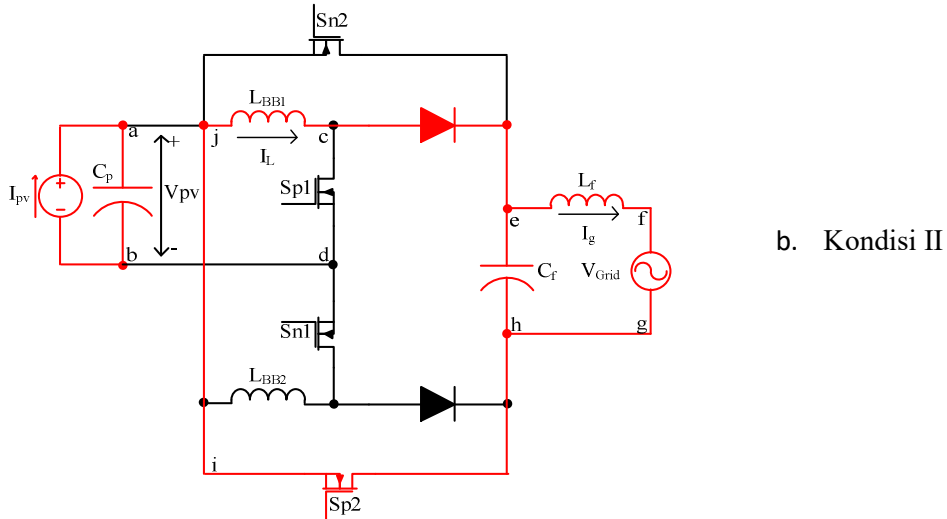
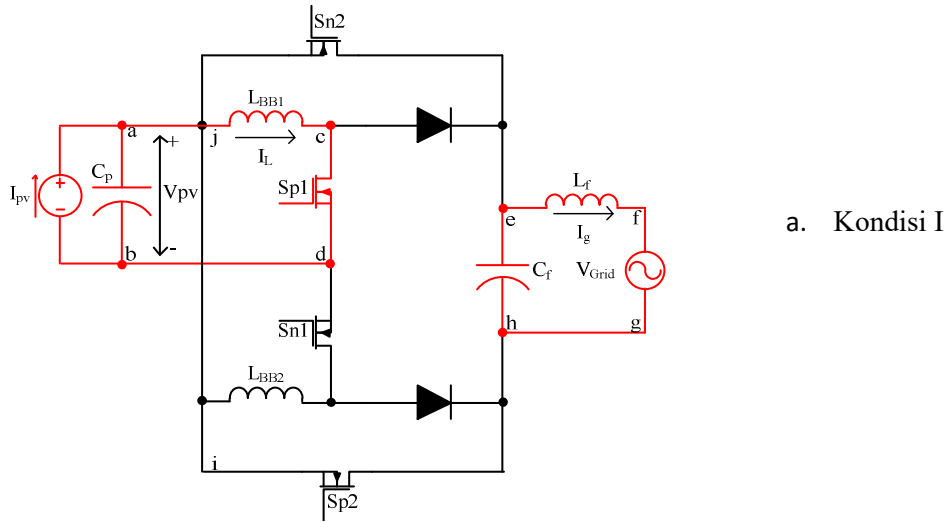
$$-V_f = L \frac{di_L}{dt} \quad (2.7)$$

$$C_f \frac{dV_f}{dt} + i_g = i_L \quad (2.8)$$

$$V_f = L_f \frac{di_g}{dt} + V_{ac} \quad (2.9)$$

dimana i_{pv} = arus pada Photovoltaic
 V_f =Tegangan pada kapasitor C_f
 C_p = Kapasitansi kapasitor *buffer*
 I_L = Arus yang mengalir pada inductor *Buck Boost*

kondisi III, besarnya i_{pv} , i_g dan V_f sama seperti analisa pada kondisi II, sedangkan tegangan yang melewati induktor sama dengan nol.



Gambar 2.4 gambar aliran arus pada rangkaian SSSP *inverter*

2.2.2 SSSP inverter dengan operasi CCM

SSSP inverter dioperasikan CCM dengan menjaga arus yang mengalir di induktor tidak mencapai nol. Dengan metoda *hysteresis current control* pada *drive switch* S_{p1}/S_{p2} maka arus yang mengalir di induktor mengikuti bentuk gelombang dari arus referensi. Jika diasumsikan *inverter* memiliki efisiensi 100% dan faktor daya satu, maka besarnya daya PV sama dengan daya yang disalurkan ke *grid*, maka arus yang melewati induktor, yaitu

$$V_{pv} \times i_L = V_{gm} \sin \omega t \times I_{gm} \sin \omega t$$

$$i_L = \frac{V_{gm} \times I_{gm}}{V_{pv}} (\sin^2 \omega t) \quad (2.10)$$

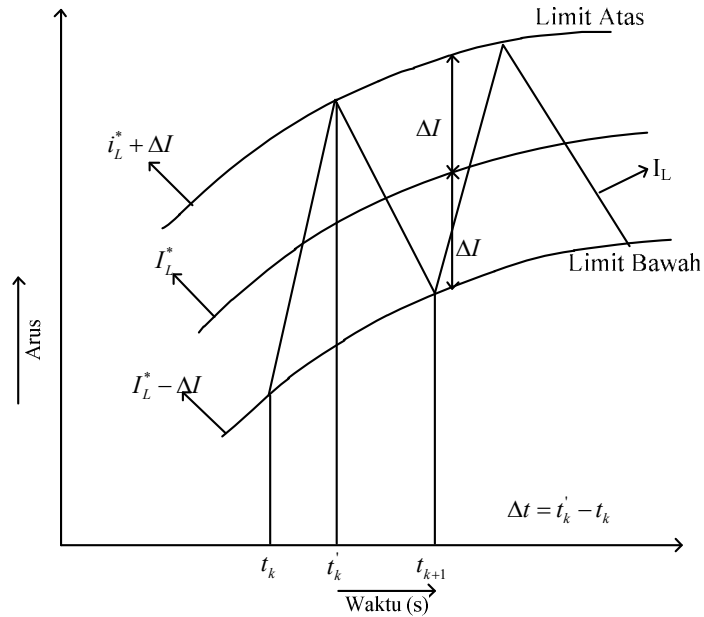
dengan V_{gm} = Tegangan maksimum *grid*
 I_{gm} = Arus maksimum *grid*

Sehingga besarnya arus referensi dapat direpresentasikan, sebagai berikut

$$i_L^* = A (\sin^2 \omega t) \quad (2.11)$$

dimana A = Amplitudo arus referensi

Secara umum bentuk gelombang arus referensi ditunjukkan pada gambar 2.5, arus induktor i_L mengalir mengikuti arus referensi i_L^* dengan pita *hysteresis* sebesar $2\Delta I$ yang berfungsi sebagai limit atas dan limit bawah dari i_L .



Gambar 2.5 Arus Induktor yang mengalir mengikuti referensi dalam batas pita *hysteresis*

Pada dasarnya terdapat dua kondisi operasi ketika SSSP *inverter* beroperasi CCM, yaitu kondisi *charging* dan *discharging* sama seperti kondisi I & II pada operasi DCM. Pada kondisi I, Untuk siklus positif, ketika *switch* Sp1 *ON* pada waktu $t_k - t'_k$ tegangan PV array V_{pv} melewati induktor, sehingga meningkatkan yang arus i_L tersimpan di induktor. Besarnya V_{pv} dari persamaan 2.3 menjadi,

$$V_{pv} = L \left[\frac{(A \times \sin^2(\omega t'_k) + \Delta I) - (A \times \sin^2(\omega t_k) - \Delta I)}{t'_k - t_k} \right] \quad (2.12)$$

pada saat i_L meningkat dan mencapai limit atas dari pita toleransi, maka masuk ke kondisi II. Pada kondisi ini, untuk siklus positif, ketika *switch* Sp1 *OFF* pada waktu $t'_k - t_{k+1}$, dioda menjadi kondisi *forward bias* dan arus i_L berkurang karena mengalir ke kapasitor C_f . dari persamaan 2.7, maka besar nya V_f menjadi

$$V_f = L \left[\frac{(A \times \sin^2(\omega t'_k) - \Delta I) - (A \times \sin^2(\omega t_k) + \Delta I)}{t_{k+1} - t'_k} \right] \quad (2.13)$$

besarnya energi yang disalurkan dari PV array ke *grid* pada waktu ke k ,

$$e_k = \frac{1}{2} \times L_{BB} \times (i_L^2(t'_k) - i_L^2(t_{k+1})) \quad (2.14)$$

jika diasumsikan $t_k \approx t'_k \approx t_{k+1}$, maka persamaan 2.14 menjadi

$$e_k = \frac{1}{2} \times L_{BB} \times [4 \times A \times \sin^2(\omega t'_k) \times \Delta I] \quad (2.15)$$

Selama interval *switching* dari Sp2/Sn2, energi yang ditransferkan adalah fungsi sinusoidal ganda, yang berfungsi untuk memberikan arus sinusoidal ke *grid* dengan faktor daya satu.

2.2.3 Desain komponen SSSP inverter untuk operasi DCM

Komponen yang ditentukan dalam rangkaian SSSP *inverter* adalah komponen induktor *buck-boost* L_{BB} , filter tegangan dan arus *grid* C_f & L_f . selain komponen *inverter* diperlukan kapasitor C_P diantara PV array dan SSSP *inverter* yang berfungsi sebagai *buffer*.

a. Desain induktor L_{BB}

Desain induktor L_{BB} , ditentukan dari perioda waktu *switching*. Jika waktu *switch ON* $\Delta t_{on} = t_k - t'_k$ dan *switch OFF* $\Delta t_{off} = t'_k - t_{k+1}$, maka persamaan persamaan 2.12 dan 2.13, disederhanakan menjadi

$$\left. \begin{aligned} \Delta t_{on} &= \frac{2 \times \Delta I \times L_{BB}}{V_{pv} + A \times \sin(2\omega t_k) \times \omega} \\ \Delta t_{off} &= \frac{2 \times \Delta I \times L_{BB}}{V_f + A \times \sin(2\omega t_k) \times \omega} \end{aligned} \right\} \quad (2.16)$$

besarnya perioda waktu *switching* $T_s = \Delta t_{on} + \Delta t_{off}$, dan jika diasumsikan $|V_f| \approx |V_{ac}| = |V_{gm} \times \sin(\omega t_k)|$. pada saat tegangan *grid* puncak yaitu $\sin(2\omega t_k) \approx 0$ dan $\sin(2\omega t_k) \approx 1$, maka periode *switching* T_s

$$T_s = \left(L_{BB} \times \frac{2 \times \Delta I}{V_{pv}} \right) + \left(L_{BB} \times \frac{2 \times \Delta I}{V_{peak}} \right) \quad (2.17)$$

dari persamaan 2.17, besarnya induktor L_{BB} , sebagai berikut

$$L = \frac{1}{f_{s(max)} \times 2 \times \Delta I} \times \left(\frac{1}{V_{pv}} + \frac{1}{V_{peak}} \right)^{-1} \quad (2.18)$$

b. Desain kapasitor *grid* C_f

Untuk desain kapasitor C_f dibutuhkan nilai maksimum energi yang ditransfer melalui induktor L_{BB} . Jika V adalah tegangan yang melewati kapasitor C , maka energi yang tersimpan adalah

$$(e) = \frac{1}{2} \times C \times V^2 \quad (2.19)$$

Jika diasumsikan power faktor satu, energi maksimum yang di transfer pada puncak tegangan *grid*. Jika berkurangnya energi pada induktor sama dengan bertambahnya energi pada kapasitor selama periode OFF, maka menghasilkan

$$\frac{1}{2} \times L_{BB} \times ((A + \Delta I)^2 - (A - \Delta I)^2) = \frac{1}{2} \times C_f \times ((V_{peak} + \Delta V)^2 - (V_{peak} - \Delta V)^2) \quad (2.20)$$

dari persamaan 2.20, maka nilai C_f dapat ditentukan,

$$C_f = \frac{L_{BB} \times A \times \Delta I}{V_{peak} \times \Delta V} \quad (2.21)$$

dimana ΔV = maksimum tegangan *ripple* pada kapasitor C_f

c. Desain induktor *grid* L_f

Karena fungsi L_f sama seperti *Low Pass Filter* dengan *cut off* frekuensi lebih rendah dari frekuensi *switching*. Maka nilai L_f ditentukan sebagai berikut:

$$\left. \begin{aligned} f_c &= \frac{1}{2 \times \pi \times \sqrt{L_f \times C_f}} \\ L_f &= \frac{1}{(2 \times \pi \times f_c)^2 \times C_f} \end{aligned} \right\} \quad (2.22)$$

d. Desain kapasitor *buffer* C_p

Nilai kapasitor C_p mempengaruhi besarnya amplitudo maksimum dari tegangan *ripple* PV array. Nilai C_p dapat ditentukan sebagai berikut:

$$C_p = \frac{2 \times P}{4 \times (2 \times \pi \times f_g) \times V_{pv} \times \Delta V_{pv}} \quad (2.23)$$

Dimana P = daya maksimum Photovoltaic
 f_g = frekuensi *grid*
 ΔV_{pv} = tegangan *ripple* Photovoltaic

2.3 MPPT Pada Sistem Pembangkit PV Terhubung *Grid*

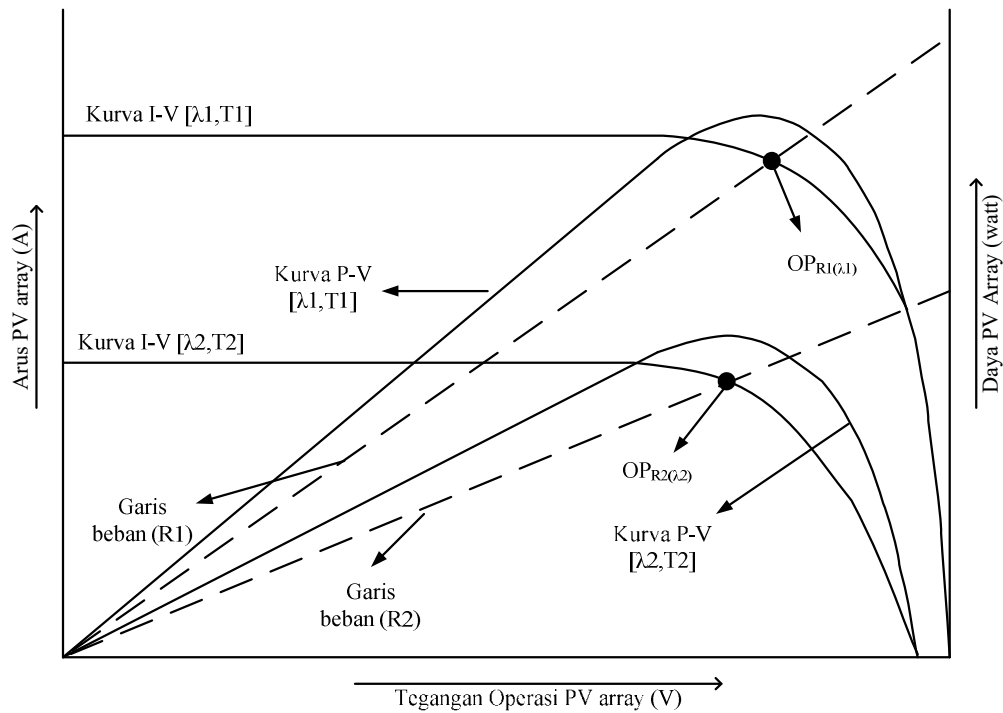
Untuk mendapatkan daya output maksimum PV array yaitu dengan menggunakan algoritma MPPT. Beberapa metoda MPPT yang telah berkembang diantaranya *hill climbing method*, *perturb and observe method*, *incremental conductance method*, *constant voltage method*, β *method*, yang dijelaskan pada publikasi [6]. Metoda-metoda tersebut menggunakan tegangan dan arus dari PV array sebagai *input*.

Metoda MPPT yang digunakan pada penelitian ini adalah menggunakan metoda kecerdasan buatan *Artificial Neural Network* (ANN), dengan *input* iradiasi dan temperatur, serta *output* berupa daya maksimum PV ($P_{PV,ref}$).

2.3.1 MPPT

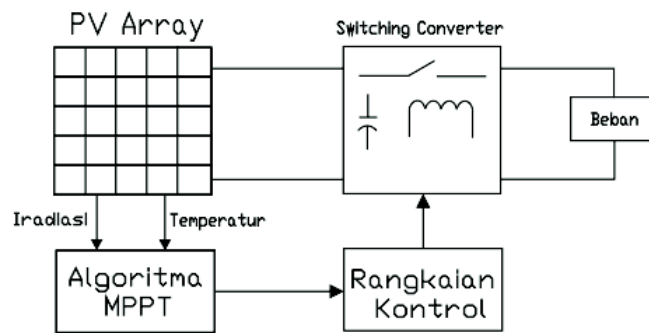
Gambar 2.6 menunjukkan karakteristik *output* dari PV array. Dari kurva I-V dan P-V dapat diketahui bahwa karakteristik *output* PV array tidak linier dan dipengaruhi oleh iradiasi, temperatur dan kondisi beban.

Titik $OP_{R1(\lambda_1)}$ adalah *maximum power point* (MPP) pada kondisi iradiasi λ_1 dan temperatur T_1 untuk beban R_1 . Jika iradiasi dan temperatur berubah menjadi λ_2 dan T_2 maka kurva I-V dan P-V bergeser pada kurva (λ_2, T_2) . Untuk mencapai kondisi MPP $OP_{R1(\lambda_2)}$ maka beban harus berubah menjadi R_2 , jika tetap menggunakan beban R_1 maka tidak bekerja pada kondisi MPP, begitu juga sebaliknya pada λ_1, T_1 , jika menggunakan beban R_2 , maka daya tidak pada titik $OP_{R1(\lambda_1)}$.



Gambar 2.6 Karakteristik I-V dan P-V dari PV array pada iradiasi dan temperatur yang berbeda dengan beban resistif R_1 dan R_2

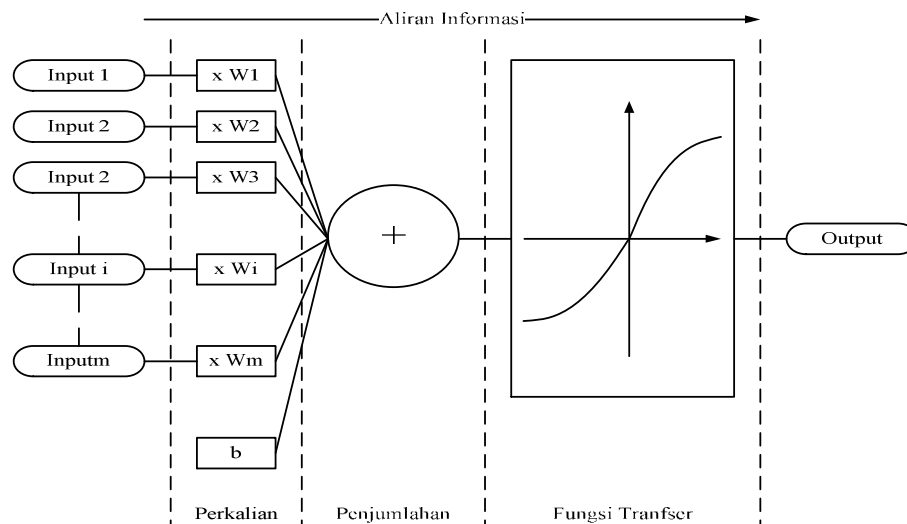
Kondisi lingkungan mempengaruhi daya *output* dari PV array, sehingga diperlukan beban yang dapat diatur untuk mendapatkan MPP. Sebagai pengganti beban yang berubah, maka digunakan *switching converter* yang terpasang diantara PV array dan beban, seperti yang ditunjukkan pada gambar 2.7. *Switching converter* berfungsi sebagai kontrol untuk menyesuaikan beban terhadap *output* PV array yang bervariasi. *Output* dari Algoritma MPPT dapat berupa daya maksimum yang digunakan sebagai referensi dari rangkaian kontrol untuk menggerakkan *switch* dari rangkaian *switching converter*.



Gambar 2.7 Sistem Kontrol MPPT pada PV Array

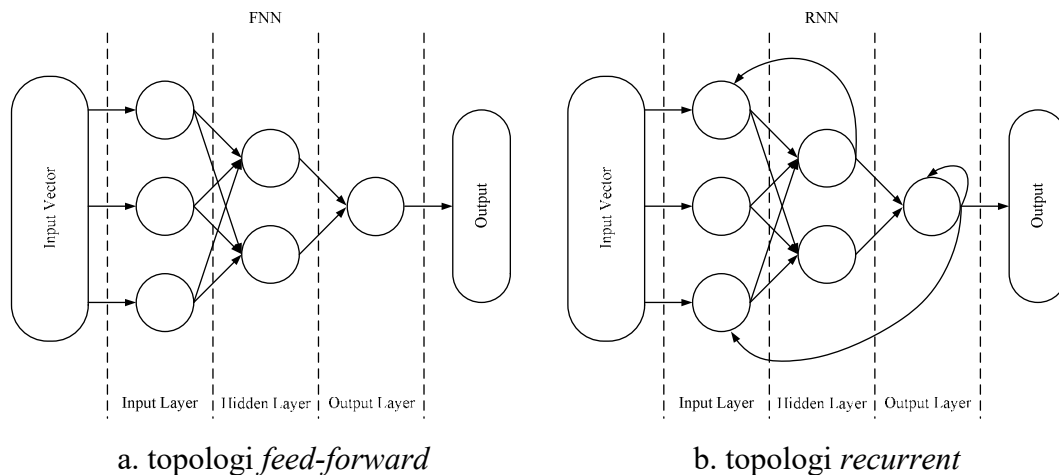
2.3.2 ANN

Artificial neural network (ANN) adalah suatu model matematika yang digunakan untuk mensimulasikan struktur dan jaringan saraf biologis [7]. Blok dasar pembentukan ANN adalah *artificial neuron*, yaitu model matematika sederhana (*function*), dengan ketentuan himpunan: perkalian, penjumlahan dan aktivasi. Seperti yang ditunjukkan gambar 2.8, pada bagian awal dari *artificial neuron* adalah *weighted input*, dimana setiap *input* dikalikan dengan bobot (*weight*). Pada bagian tengah adalah fungsi penjumlah, dimana semua *weighted input* dan *bias* dijumlahkan. Pada bagian akhir adalah fungsi transfer, dimana hasil penjumlahan melewati fungsi aktivasi.



Gambar 2.8 Prinsip kerja *Artificial Neuron*

ANN merupakan penggabungan dua atau lebih *artificial neuron*. Hubungan antar *artificial neuron* disebut topologi, arsitektur atau grafik ANN. pada dasarnya topologi ANN terbagi dua, yaitu *feed-forward* (FNN) dan *recurrent* (RNN). Pada topologi FNN, gambar 2.9a, informasi mengalir dari *input* menuju *output* hanya satu arah, sedangkan topologi RNN, gambar 2.9b, beberapa informasi yang mengalir dari *input* ke *output* tidak hanya dalam satu arah tetapi dari arah yang berlawanan.



Gambar 2.9 Topologi ANN

Terdapat tiga paradigma pembelajaran (*learning*) dari ANN, yaitu; *supervised learning*, *unsupervised learning* dan *reinforcement learning*, *supervised learning* adalah teknik *machine learning* yang menentukan parameter ANN dari data *training*. Tugas dari ANN adalah mengatur nilai parameter untuk setiap nilai *input* yang *valid* setelah melihat nilai *output*. Data *training* terdiri dari pasangan nilai *input* dan *output* yang diinginkan yang secara umum berbentuk vektor data.

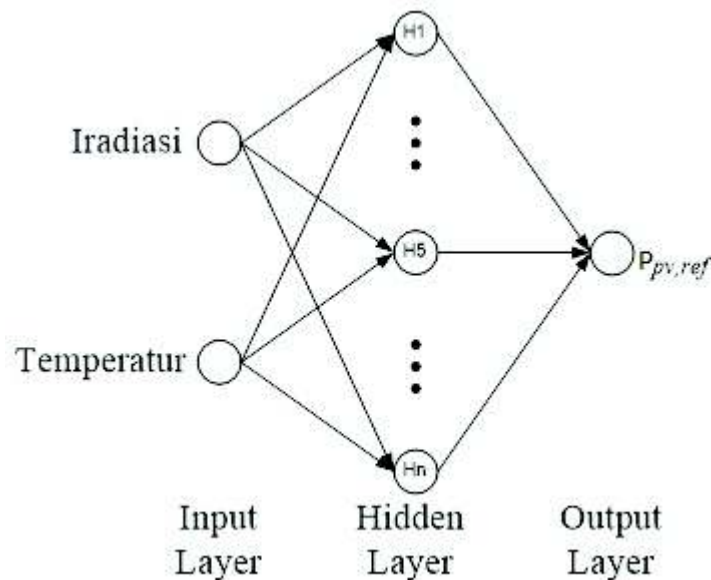
Unsupervised learning adalah teknik *machine learning* yang menentukan parameter ANN berdasarkan data yang diberikan dan *cost function* yang harus diminimalkan. *Cost function* dapat berupa fungsi apapun dan ditentukan oleh perumusan tugas.

Reinforcement learning adalah teknik *machine learning* yang menentukan parameter ANN, dimana biasanya data tidak diberikan, tetapi dihasilkan dari interaksi dengan lingkungan.

2.3.3 Kontrol MPPT menggunakan ANN

Pada penelitian ini, topologi ANN yang digunakan adalah FNN dengan *multi layer perceptron*, dan teknik *learning* yang digunakan adalah *supervised learning*, dengan model *lavenberg-marquardt backpropagasi*.

Struktur ANN untuk MPPT Seperti yang ditunjukkan gambar 2.10, *input* ANN adalah iradiasi dan temperatur, dan *output* ANN berupa daya referensi PV $P_{PV,ref}$. Untuk mengolah data input menjadi output, ANN harus mengalami pelatihan atau *training*. Dalam proses pelatihan ANN, dibutuhkan data pelatihan dengan jumlah data *training* ANN tergantung dari jumlah *input* dan *output* ANN. Jadi, untuk ANN yang memiliki dua masukan dan satu keluaran memiliki tiga macam training data. Data *input* dan *output* diperoleh dari pengujian, dengan melihat perubahan $P_{PV,ref}$ terhadap setiap perubahan iradiasi dan temperatur.



Gambar 2.10 Blok Struktur ANN untuk MPPT

BAB 3

DESAIN SINGLE STAGE INVERTER TERHUBUNG *GRID*

Dari konfigurasi sistem keseluruhan seperti yang ditunjukkan gambar 2.2, maka desain *single stage inverter* terhubung *grid* pada penelitian ini terbagi menjadi beberapa bagian, yaitu :

1. Pemodelan PV *array*
2. Disain SSSP *inverter*
3. Pemodelan ANN MPPT
4. Disain sistem keseluruhan

3.1 Pemodelan PV Array

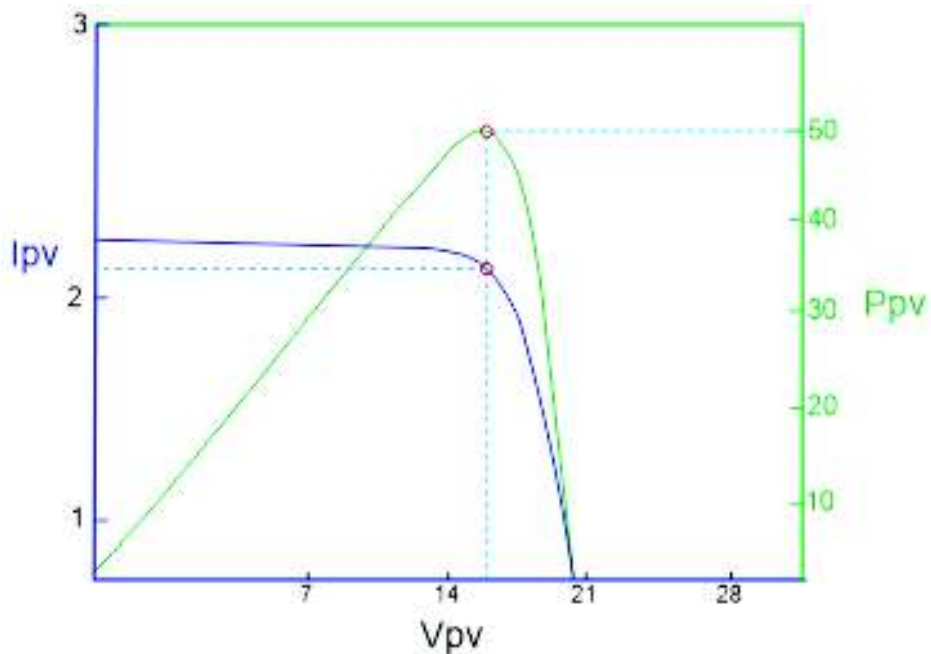
Pemodelan PV array yang digunakan dalam penelitian ini adalah model PV yang dikembangkan oleh NREL (National Renewable Energy Laboratorium) digunakan pada Simulink Matlab

Penelitian ini menggunakan PV dengan tipe BELL SL-50 CE. Spesifikasi data model PV ditunjukkan oleh Tabel 3.1. PV mempunyai kemampuan menyuplai daya maksimum 50 Wp saat intensitas cahaya matahari penuh (1000 W/m^2) dan temperatur sekitar 25°C .

Tabel 3.1 Spesifikasi parameter PV BELL SL-50 CE

Parameter	Nilai
<i>Solar Cell</i>	125*82/125*43 Mono kristalin
Daya Maksimum (P_{\max})	50 Watt
Tegangan Maksimum (V_{mp})	17,35 Volt
Arus Maksimum (I_{mp})	2,88 Ampere
<i>Guranteed Minimum Power</i>	95% (47,5 Watt)
Tegangan <i>Open circuit</i> (V_{oc})	21,88 Volt
Arus <i>Short circuit</i> (I_{sc})	3,08 Ampere
Temperatur saat bekerja	-40°C hingga 85°C
Jumlah Cell	24 cell
Berat modul	10 kilogram
Dimensi (Panjang x Lebar x Tinggi)	670*620*35 milimeter

Nilai-nilai parameter pada Tabel 3.1 yang telah dimodelkan menghasilkan kurva hubungan tegangan dengan arus (V-I) dan kurva hubungan daya dengan tegangan (P-V) seperti ditunjukkan oleh Gambar 3.1.



Gambar 3.1 Kurva I-V dan Kurva P-V dengan iradiasi 1000 W/m^2 dan temperatur 25°C

Untuk mendapatkan daya sesuai dengan yang direncanakan dalam penelitian sekitar 100 Wp , maka modul PV BELL SL-50 CE dihubungkan secara seri dan parallel. Pada tabel 3.2 dapat dilihat nilai *Maximum Power* (P_{max}), *Voltage at P_{max}* (V_{mp}), *Current at P_{max}* (I_{mp}) terhadap setiap kombinasi PV Modul yang dihubungkan seri dan parallel.

Tabel 3.2 Kombinasi PV BELL SL-50 CE pada iradiasi 1000 W/m^2 dan temperatur 25°C

No	Jumlah PV Modul		P_{max}	V_{mp}	I_{mp}
	Seri	Parallel			
1	1	2	100 W	17.30 V	5.77 A
2	2	1	100 W	34.6 V	2.88 A

3.2 Disain SSSP Inverter

Untuk sistem PV terhubung *grid*, komponen SSSP inverter terdiri dari, induktor dan MOSFET yang berfungsi sebagai *switching*, juga dilengkapi filter tegangan dan arus pada sisi *grid*, serta kapasitor *buffer* pada sisi PV Array. Persamaan yang digunakan dalam mendisain komponen SSSP inverter adalah persamaan 2.18 sampai dengan 2.23.

Parameter dasar dalam mendisain komponen SSSP inverter dengan asumsi sebagai berikut:

- a) Daya maksimum PV (P_{\max}) : 100 W
- b) Tegangan PV pada saat P_{\max} (V_{pv}) : 17,35 V
- c) Tegangan *peak* pada *grid* (V_p) : 100 V
- d) Frekuensi *switching* maksimum (f_{smax}) : 30 kHz
- e) Amplitudo maksimum arus referensi (A) : 1 A
- f) Limit arus referensi (ΔI) : 10% dari $A = 0,1$ A
- g) Tegangan *ripple grid* maksimum (ΔV) : 10 V
- h) Frekuensi *Cutoff* (f_c) : 1 kHz
- i) Frekuensi *grid* (f_g) : 50 Hz
- j) Tegangan *ripple PV* maksimum (ΔV) : 2,78 V

Dari parameter dasar diatas, dilakukan perhitungan untuk komponen SSSP inverter, sebagai berikut:

➤ Disain induktor L_{BB}

$$L_{BB} = \frac{1}{f_{smax} \times 2 \times \Delta I} \times \left(\frac{1}{V_{pv}} + \frac{1}{V_p} \right)^{-1} = \frac{1}{10^4 \times 2 \times 10^{-1}} \times \left(\frac{1}{34.7} + \frac{1}{100} \right)^{-1} = 0.128 \text{ mH}$$

➤ Disain kapasitor C_f

$$C_f = \frac{L_{BB} \times A \times \Delta I}{V_p \times \Delta V} = \frac{128 \times 10^{-3} \times 1 \times 10^{-1}}{10^2 \times 2.78} = 46 \mu F$$

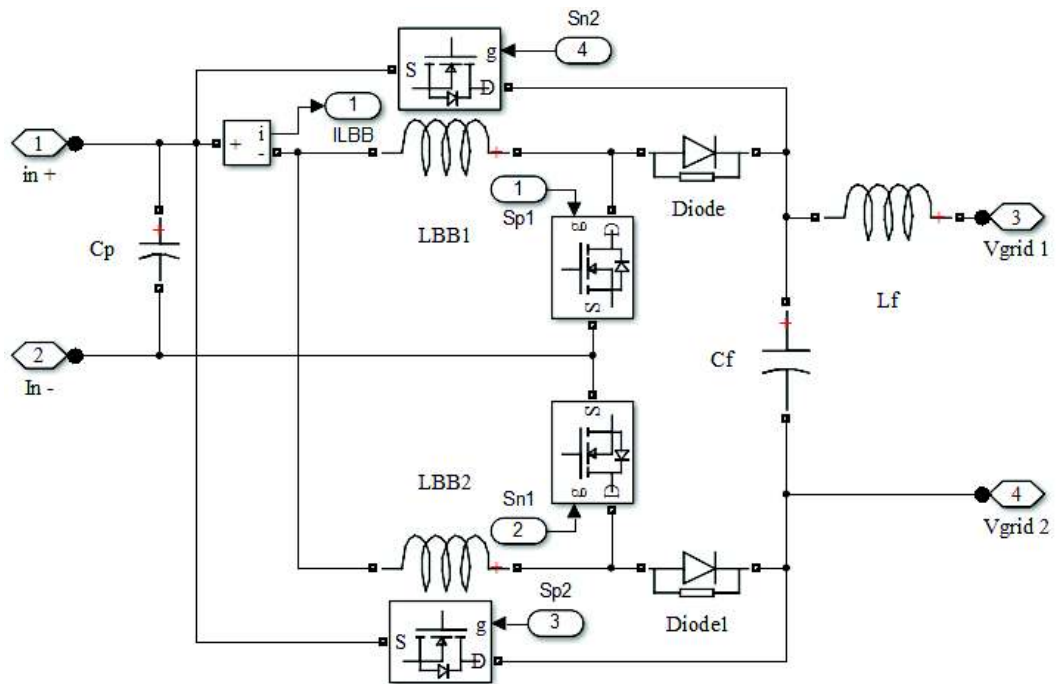
➤ Disain induktor L_f

$$L_f = \frac{1}{(2 \times \pi \times f_c)^2 \times C_f} = \frac{1}{(2 \times 3.14 \times 1000)^2 \times 46 \cdot 10^{-6}} = 5.5 \text{ mH}$$

➤ Disain kapasitor C_p

$$C_p = \frac{2 \times P_{pv}}{4 \times V_{pv} \times 2 \times \pi \times f_g \times \Delta V_{pv}} = \frac{2 \times 100}{4 \times 34.7 \times 2.78 \times 6.28 \times 50} = 1.65 \text{ mF}$$

Gambar 3.2 menunjukkan model SSSP *inverter*, nilai komponen yang digunakan adalah hasil dari perhitungan sebelumnya. Pada saat simulasi, nilai komponen yang digunakan tetap untuk setiap kombinasi hubungan PV *array*, dengan tujuan melihat kemampuan sistem SSSP *inverter* terhadap perubahan tegangan *input*. Sedangkan tegangan pada sisi *grid* sebesar 100 V_{rms}, dengan frekuensi 50 Hz.



Gambar 3.2 model SSSP *inverter*

3.3 Pemodelan ANN MPPT

Seperti yang dijelaskan sebelumnya, bahwa daya dari PV *array* dipengaruhi oleh iradiasi dan temperatur. Pada kurva karakteristik daya maksimum P_{mp} dari PV *array* meningkat seiring peningkatan iradiasi ketika temperatur tetap, begitu juga besarnya arus pada saat daya maksimum I_{mp} juga turut meningkat.

Berdasarkan kurva karakteristik PV inilah, maka dibuat pemodelan ANN MPPT dengan data dua *input* yaitu iradiasi dan temperatur, serta data output berupa daya maksimum PV.

Data yang dibutuhkan ANN MPPT dalam penelitian ini terdiri dari : *Input* (iradiasi dan temperatur); *Output* (Daya PV pada saat P_{max}). Komposisi data *input* dan *output* yang digunakan dapat dilihat pada tabel 3.3.

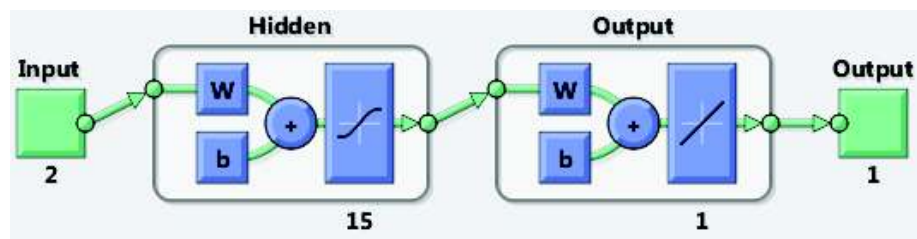
Data daya PV pada saat P_{max} didapat dari hasil simulasi PV *array* setiap perubahan iradiasi dan temperatur. Dari tabel 3.3 untuk setiap PV data ANN yang akan dilakukan *learning* sebanyak 400 data *input* dan *out*, sehingga total untuk seluruh kombinasi PV adalah 800 data.

Tabel 3.3 Komposisi data input dan output ANN MPPT

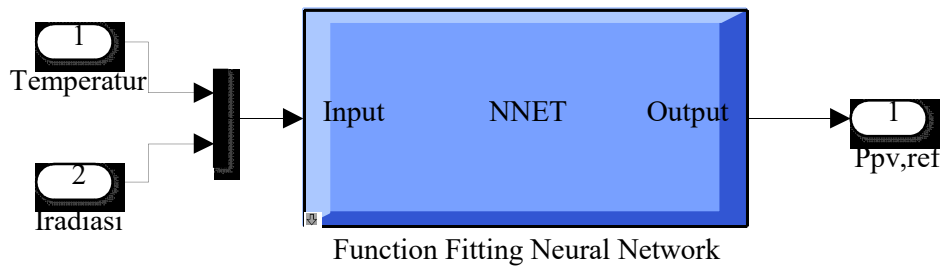
Parameter	Range	Peningkatan	Jumlah data
Iradiasi	50 s/d 1000 W/m ²	50 W/m ²	20
Temperatur	21 s/d 40 °C	1 °C	20
Daya PV pada saat P_{max}	-	-	400

Pada penelitian ini blok diagram ANN menggunakan *nftool* dari *toolbox* Matlab dengan persentase *Training*: 70%, *Validation*: 15%, *Testing*: 15%. Jumlah *hidden neuron*: 15 *neuron*. *Training* menggunakan *Lavenberg - Marquardt Backpropagation*.

Gambar 3.3 menunjukkan diagram Simulink ANN, dengan *input* iradiasi dan temperatur, serta *output* dari ANN berupa daya maksimum pada PV.



(a) Blok diagram *neural network*



(b) Blok diagram fungsi *fitting neural network*

Gambar 3.3 Blok diagram ANN pada *simulink matlab*

BAB 4

SIMULASI SISTEM DAN ANALISA DATA

Untuk melihat kinerja dari sistem yang telah didisain, maka sistem disimulasikan dengan menggunakan *software simulink matlab*. Kemudian data yang didapat dari hasil simulasi dianalisa. Simulasi yang dilakukan antara lain: simulasi model PV *array*, simulasi kontrol ANN MPPT, simulasi sistem keseluruhan

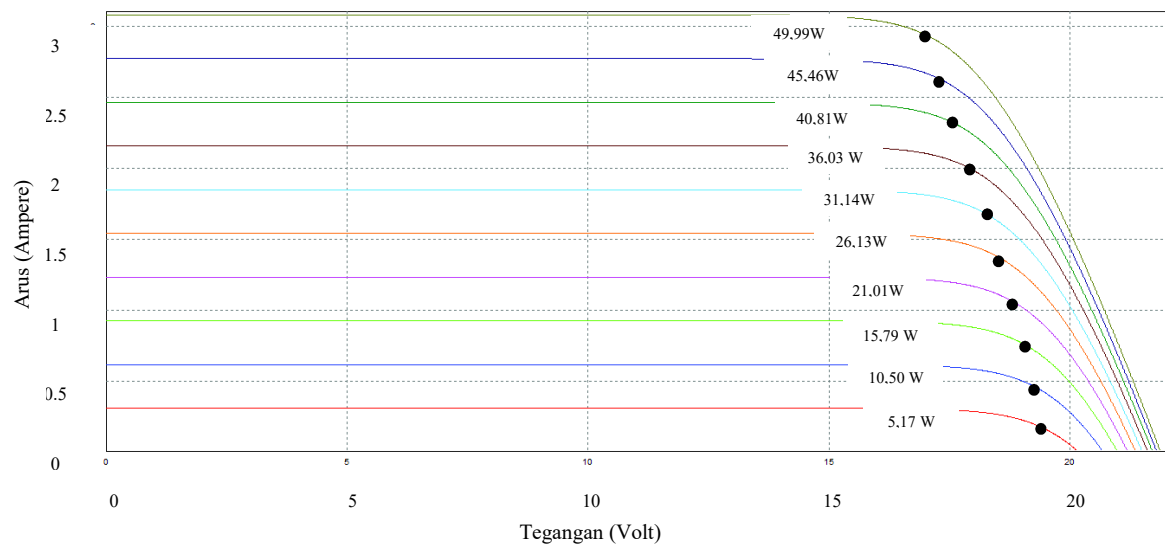
4.1. Simulasi Model PV *Array*

Simulasi PV *array* dimaksudkan untuk mengetahui kinerja dari model PV *array* yang digunakan, juga untuk mengambil data yang dibutuhkan dalam *training* ANN.

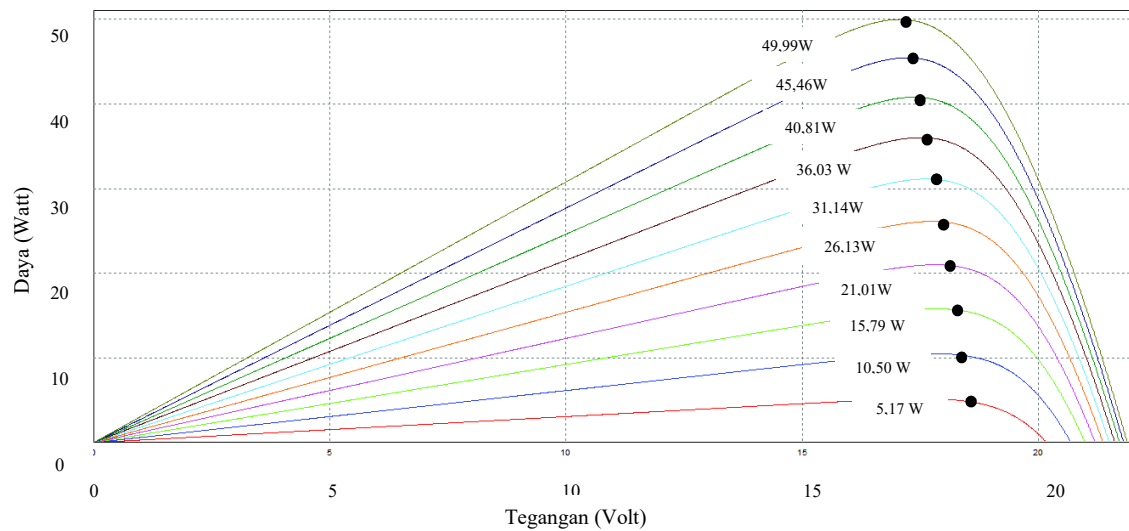
Parameter PV yang digunakan yaitu PV BELL SL-50 CE seperti yang ditunjukkan pada tabel 3.1. Simulasi dilakukan untuk setiap perubahan iradiasi dan temperatur. Data yang diambil pada simulasi ini adalah daya maksimum (P_{max}), arus pada saat daya maksimum (I_{max}) dan tegangan pada saat daya maksimum (V_{max}).

Hasil simulasi ditampilkan dalam bentuk kurva I-V dan P-V untuk perubahan iradiasi dan temperatur. Perubahan iradiasi dari 100 s/d 1000 W/m² dengan peningkatan 100 W/m², sedangkan perubahan temperatur dari 21 s/d 40°C dengan peningkatan 1°C.

Gambar 4.1 & 4.2, menunjukan kurva I-V dan P-V dari hasil simulasi sebuah PV BELL SL-50 CE, untuk perubahan iradiasi pada temperatur 25°C dan perubahan temperatur pada iradiasi 1000 W/m². Pada gambar 4.1 dapat dilihat bahwa perubahan iradiasi mengakibatkan berubahnya P_{max} dan I_{max} . Selain itu, V_{max} juga berubah, tetapi tidak terlalu besar, kecuali pada saat iradiasi yang sangat kecil. Pengaruh perubahan temperatur dapat dilihat pada gambar 4.2. perubahan temperatur memberikan efek terhadap P_{max} , semakin tinggi temperatur maka P_{max} semakin rendah. Hal ini disebabkan V_{max} menurun seiring peningkatan temperatur, sebaliknya I_{max} meningkat ketika temperatur meningkat, tetapi peningkatan I_{max} tidak terlalu signifikan.



(a) Kurva I-V



(b) Kurva I-V

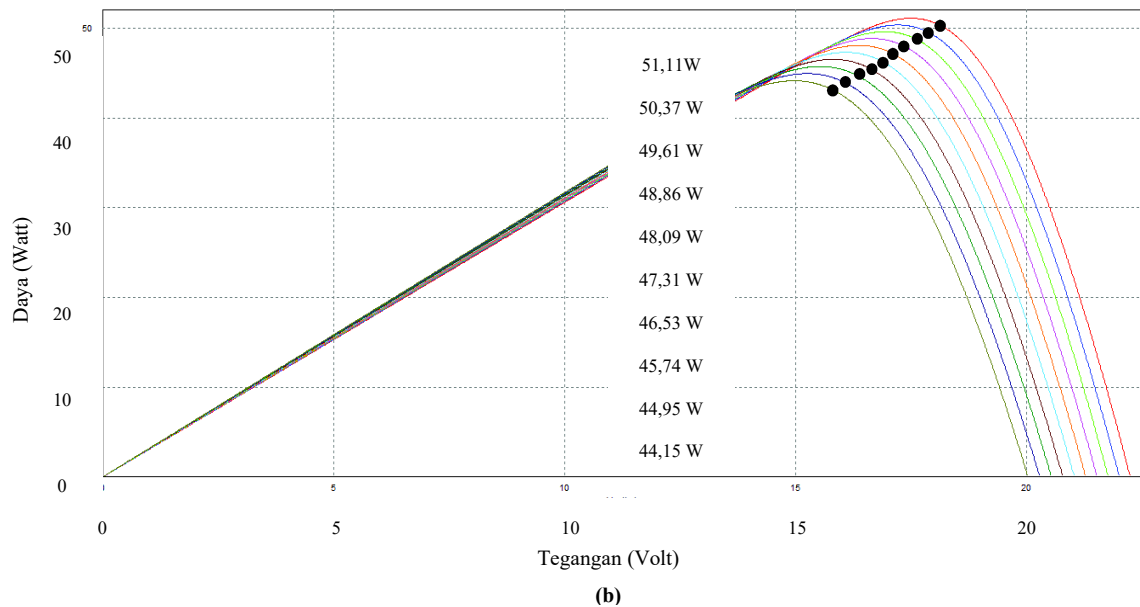
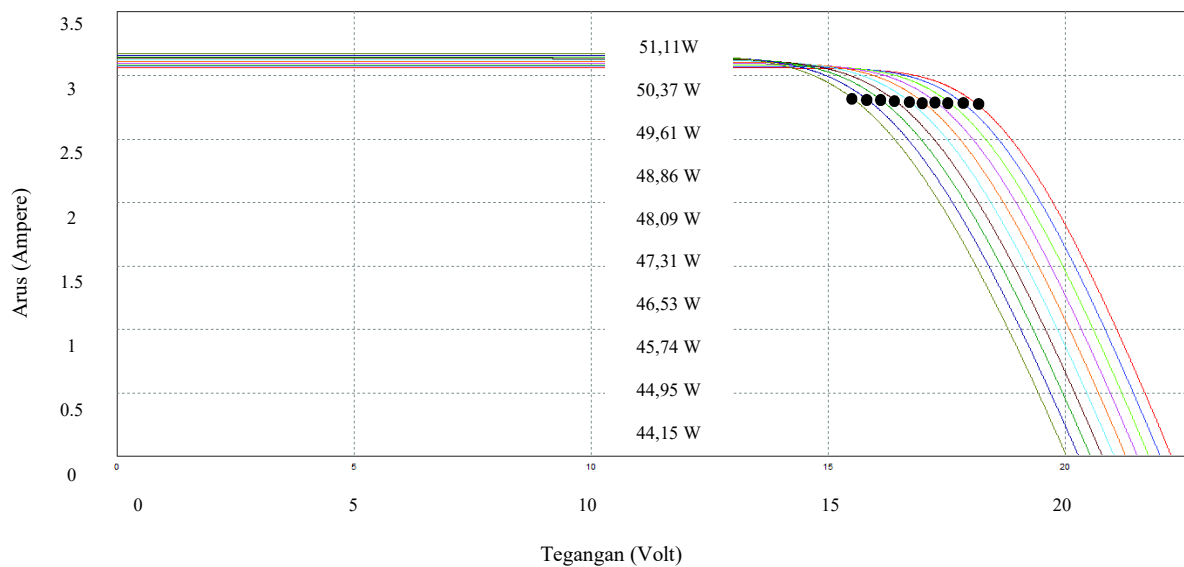
Gambar 4.1 Hasil simulasi model PV dengan perubahan iradiasi 100 W/m^2 hingga 1000 W/m^2 (step 100 W/m^2) dan temperatur konstan 25°C

Tabel 4.1 Hasil simulasi model PV dengan perubahan iradiasi 100 W/m^2 hingga 1000 W/m^2 (step 100 W/m^2) dan temperatur konstan 25°C

Iradiasi	Temperatur	I_{\max}	V_{\max}	P_{\max}
100	25	0,30798820	16,78779698	5,170443489
200	25	0,61597693	17,05172591	10,50346985
300	25	0,92396566	17,09816507	15,79811741
400	25	1,23195439	17,05770126	21,01430994
500	25	1,53994311	16,97025155	26,13322206
600	25	1,84793184	16,85350026	31,14411983
700	25	2,15592057	16,71673975	36,03996313

800	25	2,46390930	16,56556102	40,81603985
900	25	2,77189802	16,40356289	45,46900363
1000	25	3,07988675	16,23318706	49,99637781

Dari gambar 4.2 hasil simulasi perubahan temperatur terhadap PV, maka dapat disimpulkan bahwa perubahan daya maksimum tidak begitu signifikan terhadap perubahan temperatur.



Gambar 4.2 Hasil simulasi model PV dengan perubahan temperatur 20°C hingga 40°C dan iradiasi konstan 1000 W/m²

Tabel 4.2 Hasil simulasi model PV dengan perubahan temperatur 22°C hingga 40°C (step 2°C) dan iradiasi konstan 1000 W/m²

Iradiasi	Temperatur	I_{\max}	V_{\max}	P_{\max}
1000	22	3,061407431	16,69610527	51,11358074
1000	24	3,07372698	16,38755676	50,37087534
1000	26	3,08604653	16,07879039	49,61989527
1000	28	3,098366079	15,76987898	48,86085811
1000	30	3,110685628	15,46091532	48,09404707
1000	32	3,123005176	15,15199809	47,31976846
1000	34	3,135324724	14,84318899	46,53821741
1000	36	3,14764427	14,53461267	45,74979029
1000	38	3,159963813	14,2263085	44,95462004
1000	40	3,172283348	13,91839921	44,15310603

4.2. Simulasi Kontrol ANN MPPT

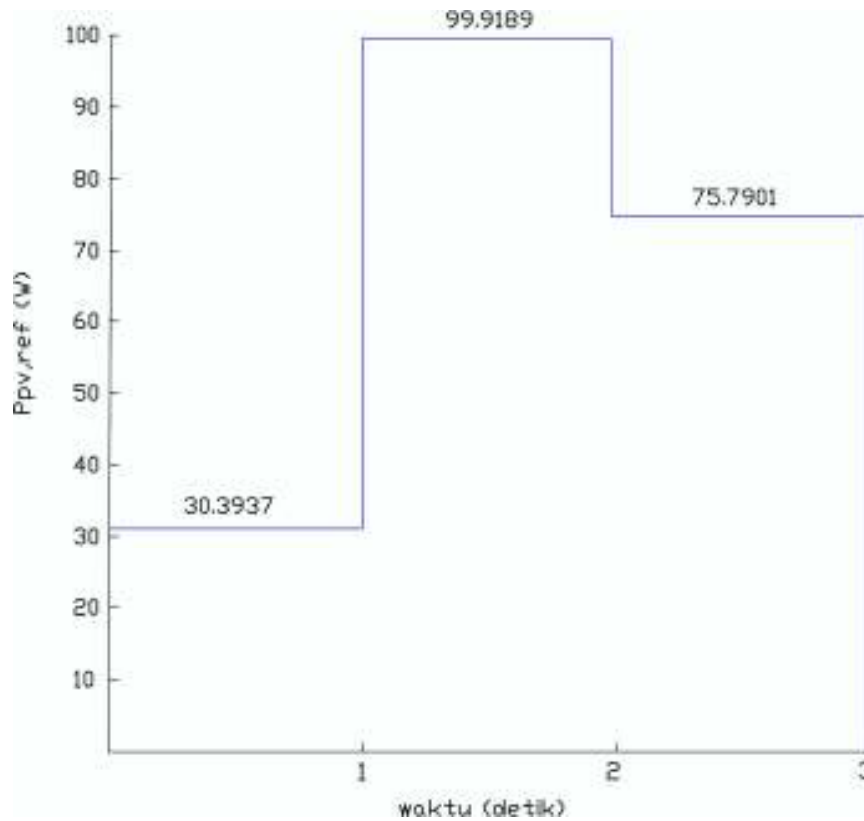
Sebelum kontrol ANN MPPT disimulasikan, maka dilakukan *Training* ANN dengan data yang didapat dari hasil simulasi model PV array. *Input training* adalah kombinasi perubahan temperatur dan iradiasi dengan jumlah data total sebanyak 400 data. *Ouput training* adalah P_{\max} dengan jumlah data sebanyak 400 data. Pada simulasi ini, *training* ANN dilakukan untuk setiap kombinasi hubungan PV yang digunakan pada penelitian.

Hasil dari *training* ANN ditampilkan pada tabel 4.3. dengan *Mean Square Error* (MSE) $< 3e-7$ dan regresi ≈ 1 .

Tabel 4.3 Hasil *training* ANN

Kombinasi PV	Hasil	Data Sampel	MSE	Regresi
1 seri, 2 Parallel	<i>Training</i>	280	1.73056e-7	9.99999e-1
	<i>Validastion</i>	60	2.86566e-7	9.99999e-1
	<i>Testing</i>	60	2.06171e-7	9.99999e-1
2 seri, 1 Parallel	<i>Training</i>	280	3.60801e-9	9.99999e-1
	<i>Validastion</i>	60	1.94962e-7	9.99999e-1
	<i>Testing</i>	60	3.62953e-8	9.99999e-1

Setelah *training* ANN selesai, kemudian *generate simulink block* untuk simulasi ANN, lalu dilakukan simulasi *block* ANN untuk melihat *output* $P_{pv,ref}$ dengan memberikan *input* iradiasi dan temperatur. Hasil simulasi kontrol ANN MPPT ditunjukkan gambar 4.3, pada kombinasi PV no.7 (2 seri, 1 parallel) dengan tiga tahap perubahan iradiasi 300 W/m², 1000 W/m² dan 750 W/m², sedangkan temperatur tetap yaitu sebesar 25°C.



Gambar 4.3 Output kontrol ANN MPPT

Validitas *output* dari blok kontrol ANN MPPT dilihat dengan membandingkan *output* blok kontrol ANN MPPT $P_{pv,ref}$ terhadap data *training output* P_{max} . Tabel 4.2 menunjukkan perbandingan $P_{pv,ref}$ terhadap P_{max} , untuk setiap kombinasi PV dengan temperatur: 25°C dan iradiasi: 300 W/m²; 1000 W/m² dan 750 W/m².

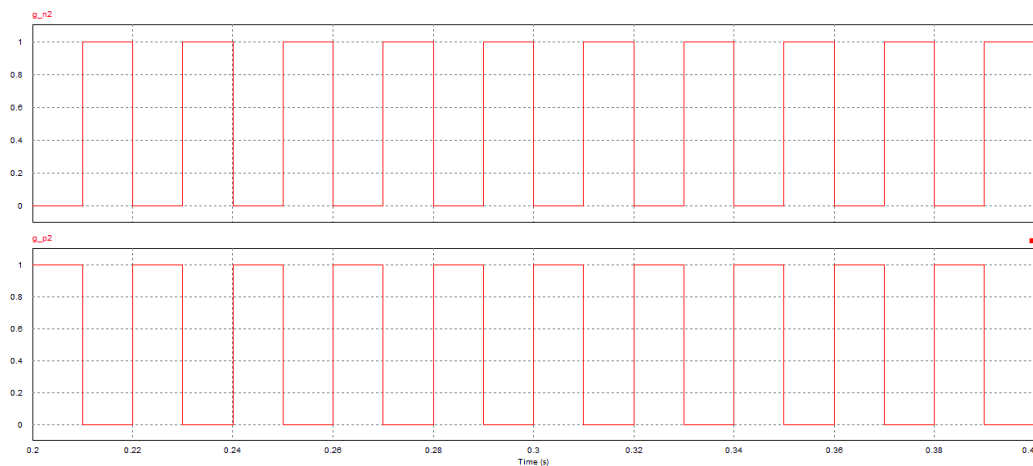
Tabel 4.1 Kinerja kontrol ANN MPPT

Kombinasi PV	Temperatur	Iradiasi	$P_{pv,rev}$	P_{max}
1 seri, 2 Parallel	25°C	300 W/m ²	30.3937 W	30.3939 W
	25°C	1000 W/m ²	99.9189 W	99.9190 W
	25°C	750 W/m ²	75.7901 W	75.7903 W
2 seri, 1 Parallel	25°C	300 W/m ²	30.4316 W	30.4317 W
	25°C	1000 W/m ²	99.9164 W	99.9166 W
	25°C	750 W/m ²	75.8916 W	75.8919 W

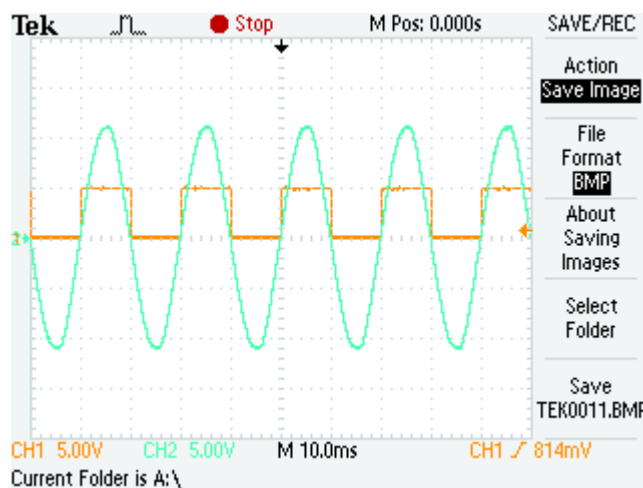
4.3. Simulasi Rangkaian Inverter

4.3.1 Rangkaian Switching

Dari uraian gambar 3.2 pada Bab 3 menunjukkan sebuah rangkaian SSSP inverter. Dari uraian tersebut tentunya masing – masing signal switching akan diuraikan. Signal switching paling utama berkaitan dengan jala-jala yang terhubung dengan inverter (dalam hal ini 50 Hz). Dalam implementasinya signal dari jala-jala akan melalui Zero Crossing Detector dan akan saling berkomplemen antara signal satu dengan yang lainnya (Sp2 dan Sn2). Berikut hasil simulasi dari signal Sp2 dan Sn2.



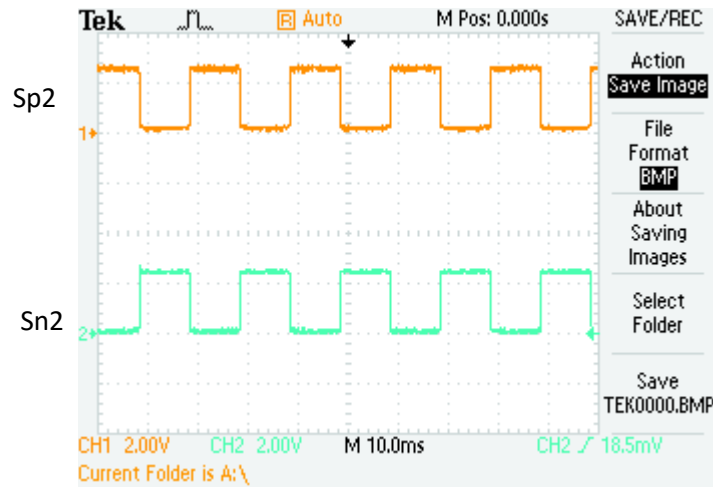
Gambar 4.4 Simulasi dari Sp2 dan Sn2



Gambar 4.5 Output dari signal jala-jala ketika melalui rangkaian Zero Crossing Detector

Terlihat pada gambar 4.5 bahwa output dari rangkaian Zero Crossing Detector berupa signal persegi dengan frekuensi sebesar 50 Hz.

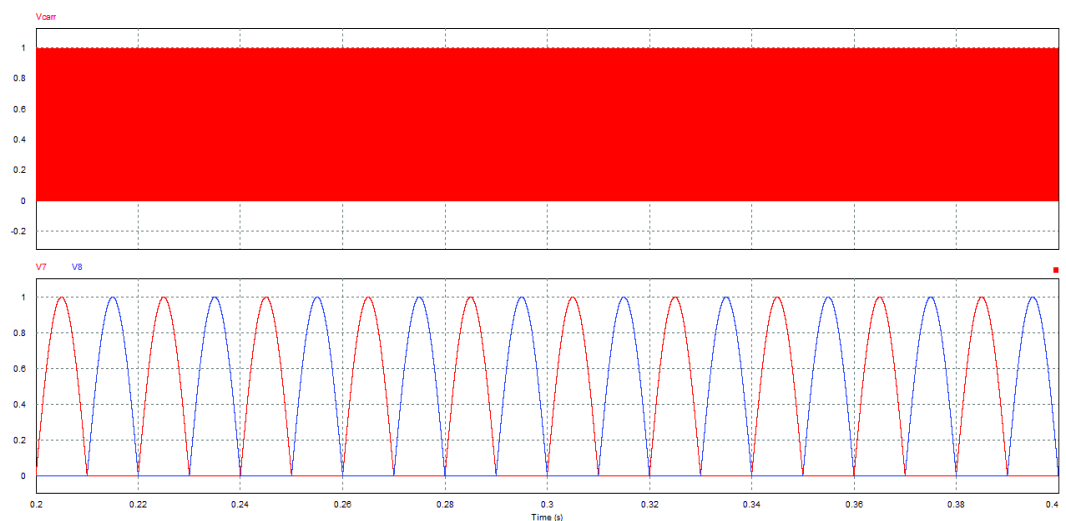
Selanjutnya signal output ini akan diinversi, sebagai signal switching dari sisi yang berkomplemen.



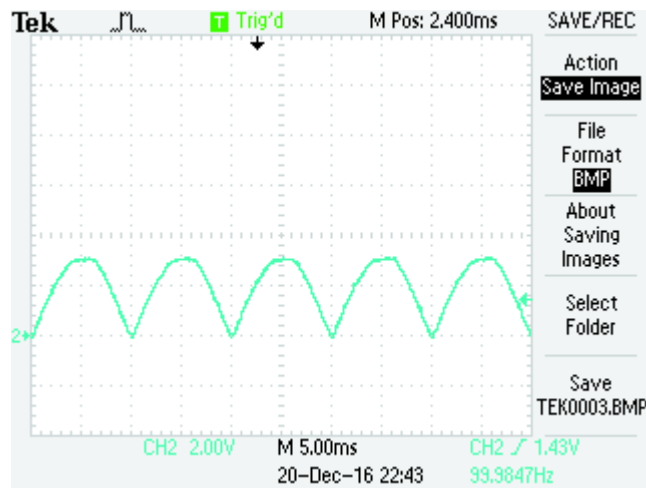
Gambar 4.6 Output komplemen

4.3.2 Rangkaian Sinusoidal Pulse Width Modulation (SPWM)

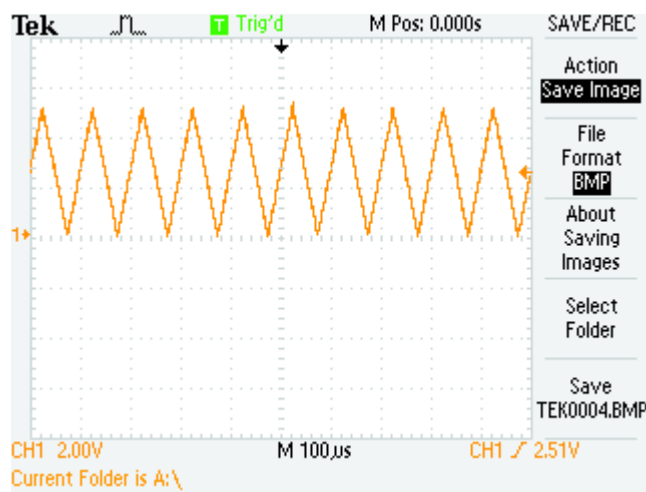
Setelah terbentuk signal Sp2 dan Sn2, maka dibutuhkan signal Sp1 dan Sn1. Dimana Sp1 dan Sn1 terbentuk dari Signal Sinusoidal Pulse Width Modulation (SPWM) yang di AND kan dengan Sp1 dan Sn1. Sinyal SPWM ini sendiri terbentuk dari signal jala-jala yang telah disearahkan (*fullwave*) dengan amplitudo yang berubah sesuai dengan besarnya MPPT dengan perubahan irradiance dan temperature,serta signal segitiga dengan frekuensi 10 KHZ dan amplitude sebesar 5 Vpp (sebagai *carrier*) yang telah dilakukan komparasi.



Gambar 4.7 Simulasi dari signal *carrier* dan signal *fullwave*

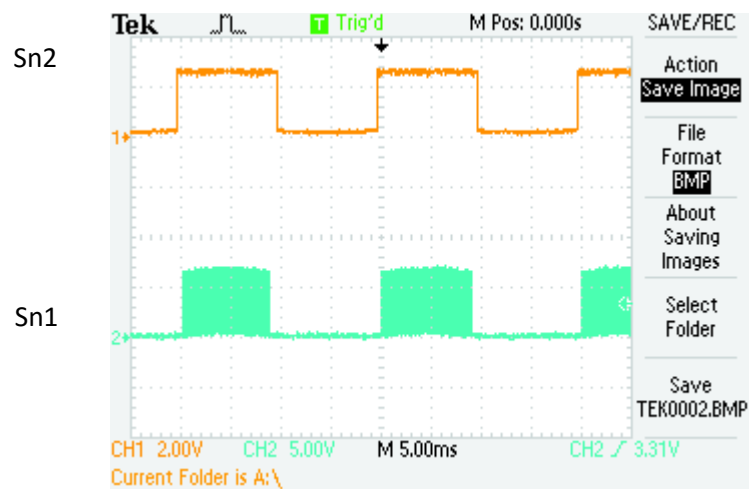


Gambar 4.8 Output sinyal *fullwave*



Gambar 4.9 Output sinyal *carrier*

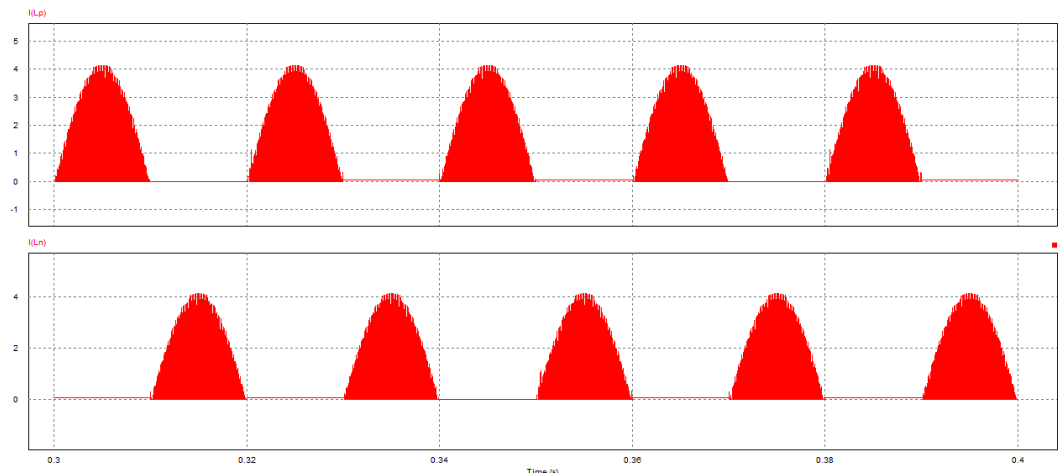
Dari kedua sinyal diatas jika dikomparasikan dan dilakukan proses AND maka dihasilkan sinyal seperti pada gambar 4.10



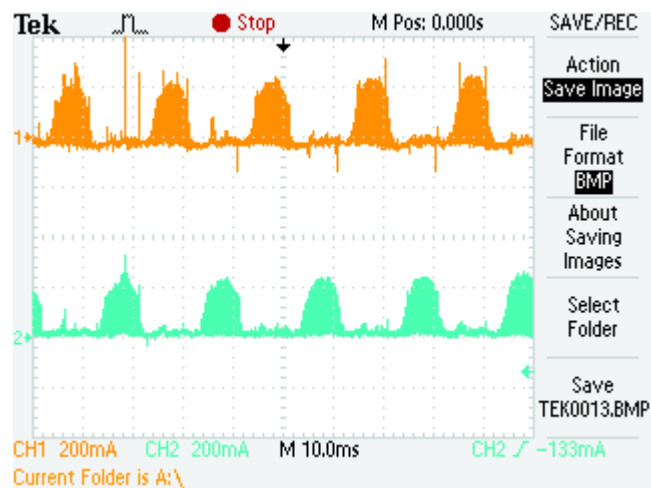
Gambar 4.10 Output sinyal SPWM

4.3.3 Signal pada I_{LBB1} dan I_{LBB2}

Dikarenakan induktor L_{BB} merupakan komponen utama dari SSSP Inverter ini, tentunya harus kita perhatikan bagaimana arus yang melewatinya. Induktor L_{BB} pada SSSP inverter ini berfungsi sebagai Current Source pada rangkaian. Untuk simulasi signal arus yang melewati pada induktor L_{BB} akan ditunjukkan pada gambar 4.11.



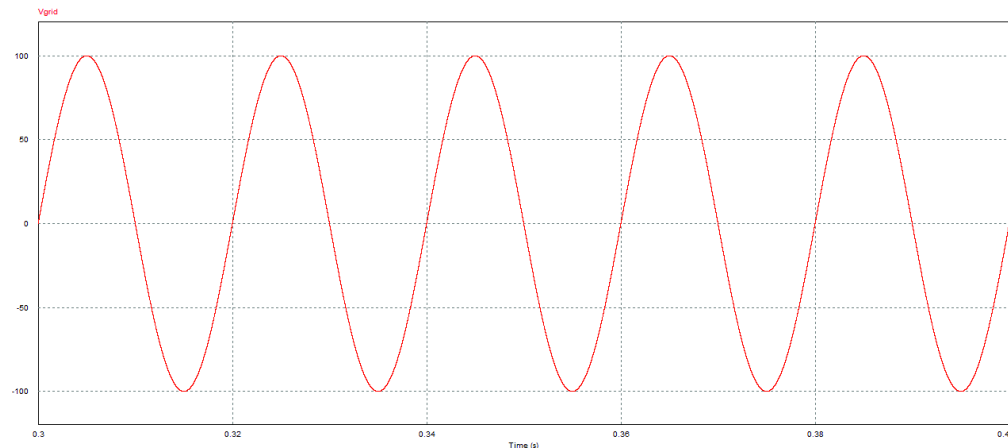
Gambar 4.11 Simulasi dari arus inductor Buck Boost



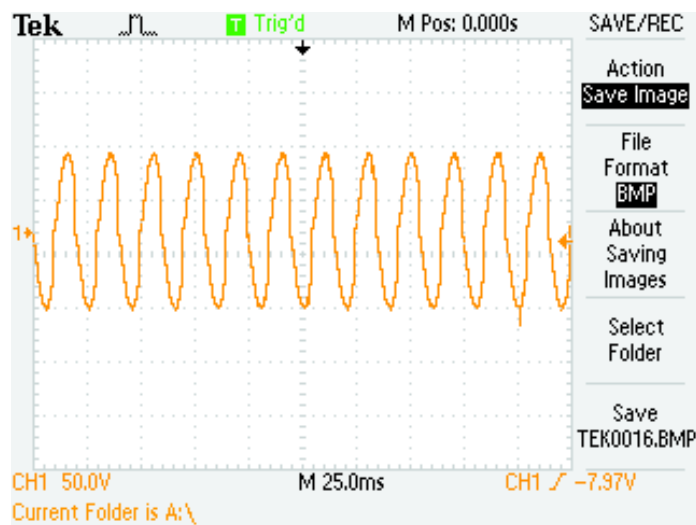
Gambar 4.12 Output dari inductor Buck Boost

4.3.4 Tegangan Output Inverter

Dari uraian mengenai sinyal switching sebelumnya, tentunya yang menjadi perhatian pada parameter selanjutnya adalah tegangan output inverter. Dari simulasi ini, sinyal frekuensi output inverter akan sama dengan sinyal frekuensi grid. Pengukuran tegangan output inverter dilakukan pada sisi kapasitor C_f .

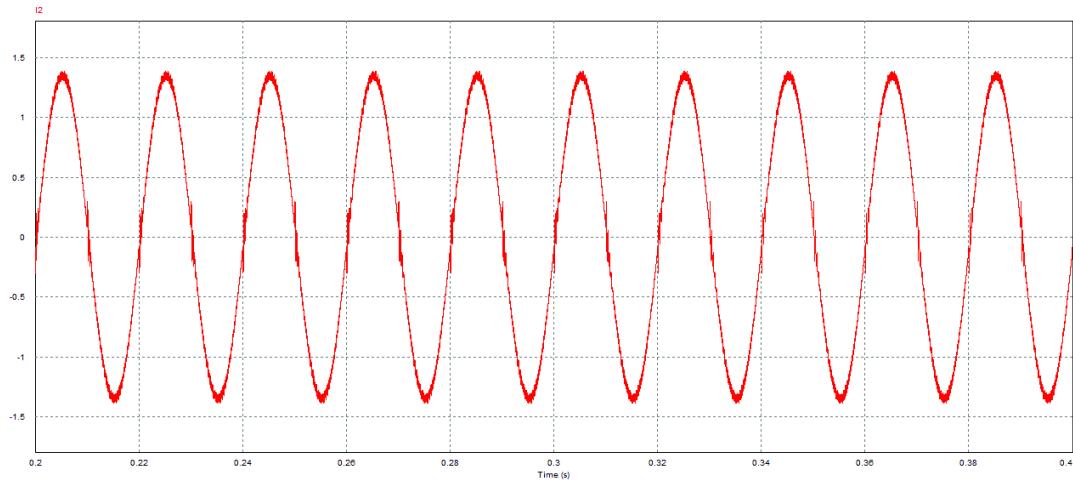


Gambar 4.13 Simulasi *Output dari inverter*

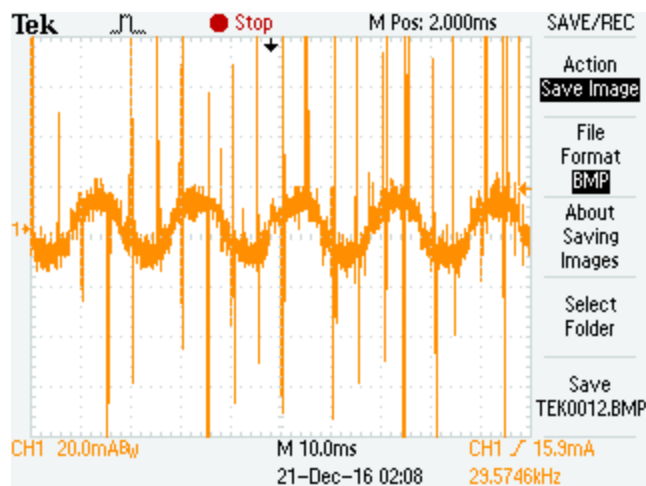


Gambar 4.14 Output tegangan dari SSSP Inverter

Kemudian yang perlu diperhatikan dalam sisi output adalah arus induktor I_L yang mengalir pada sisi beban. Arus induktor pada sisi beban tampak pada gambar 4.15.



Gambar 4.15 Simulasi output sinyal arus dari I_L



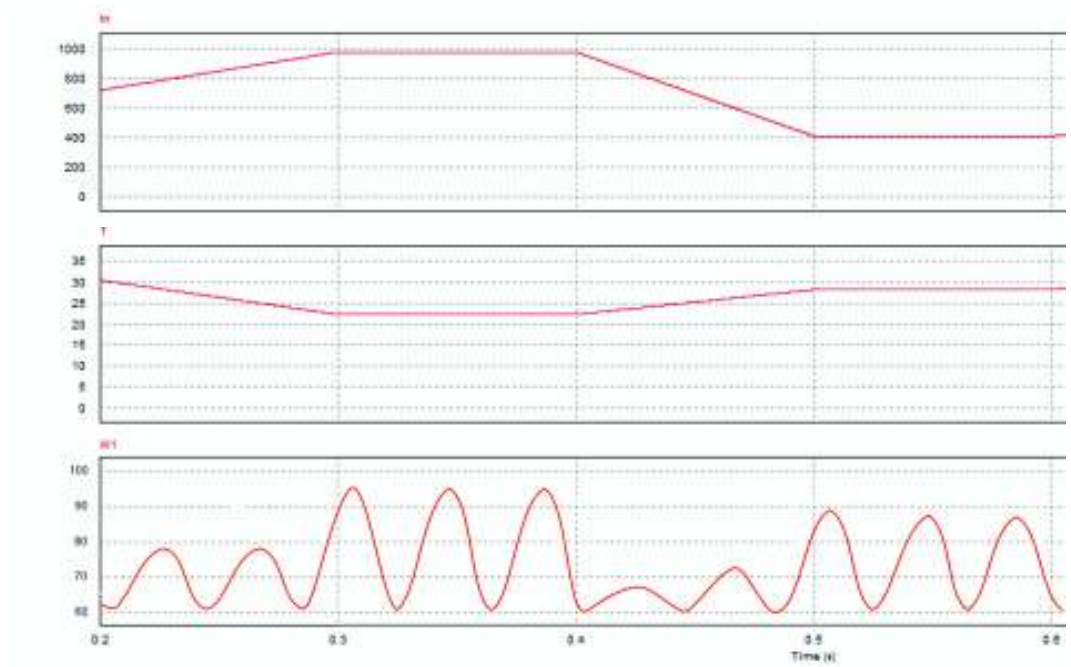
Gambar 4.16 Output sinyal arus dari I_L

4.4. Simulasi Sistem Keseluruhan

Simulasi sistem secara keseluruhan dilakukan untuk melihat kinerja dari sistem kontrol MPPT yang dibuat, juga untuk melihat kinerja dari SSSP *inverter*. Hasil dan analisa sistem keseluruhan dibagi menjadi tiga bagian, yaitu: sisi *input inverter*, sisi *inverter*, sisi *output inverter*.

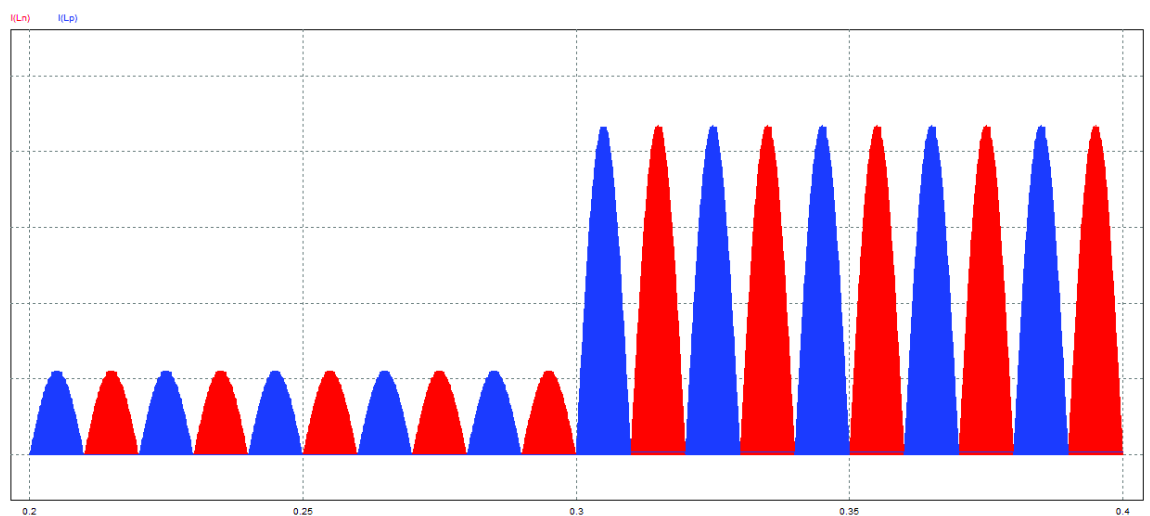
Simulasi dilakukan pada PV dengan beberapa tahap perubahan temperatur dan iradiasi. Gambar 4.17, menunjukan grafik perubahan temperatur dan iradiasi, dengan empat tahap perubahan temperatur dan iradiasi, yaitu: $30,5^{\circ}\text{C}$ dan 720 W/m^2

(kondisi 1); 22.3°C dan 980W/m² (kondisi 2); 28.2°C dan 410 W/m² (kondisi 3); 34.7°C dan 530 W/m² (kondisi 4);



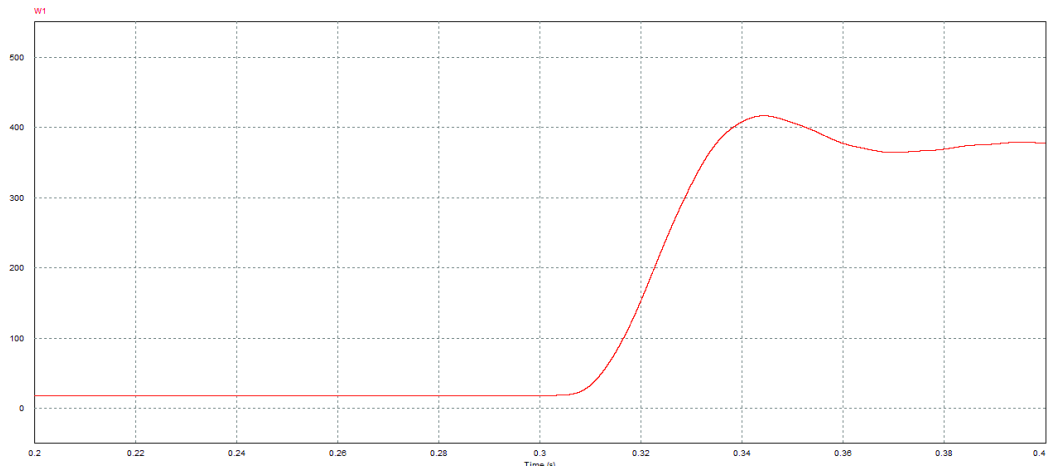
Gambar 4.17 Grafik perubahan temperatur dan iradiasi serta daya output

Dari grafik perubahan temperatur dan iradiasi pada gambar 4.17, kondisi tersebut akan diujicobakan pada system yang ada. Dari perubahan kondisi tersebut akan diamati arus pada L_{BB}, L_f , dan daya output pada converter.



Gambar 4.18 Arus pada L_{BB}

Dari gambar 4.18 dapat kita lihat bahwa pada kondisi 1 arus L_{BB} hanya berkisar 5 A saja, sedangkan saat kondisi 2 dimana nilai iradiasi lebih besar dari kondisi 1. Warna merah dan biru menunjukkan kondisi yang saling berkomplemen setiap periodenya. Warna biru menunjukkan L_{BB} pada saat siklus positif dan warna merah menunjukkan L_{BB} pada saat siklus negatif.



Gambar 4.19 Perubahan daya output pada Inverter

Hal selanjutnya yang diamati adalah perubahan daya output pada inverter. Dari gambar 4.19 tampak bahwa dibutuhkan waktu 0.34 sekon untuk mencapai kondisi steady state.

BAB 5

PENUTUP

5.1 Kesimpulan

Setelah dilakukan implementasi SSSP *inverter* dalam penelitian ini, dapat diambil beberapa kesimpulan sebagai berikut:

1. Metode Single Stage Inverter dapat digunakan pada sistem
2. Topologi sistem yang digunakan dapat beroperasi pada *input* dengan *range* yang luas, baik tegangan *input* lebih kecil dari tegangan *output* ataupun sebaliknya.
3. Dari pengamatan, nilai arus pada inductor *buck boost* masih rendah.
4. Efisiensi dari sistem yang digunakan sudah cukup tinggi, efisiensi terendah 74.34% dan efisiensi tertinggi 92.84%.

5.2 Saran

1. Untuk menguji sistem ini, sebaiknya uji pembebanan dilakukan selama periode yang cukup lama.
2. Perlu diadakan penelitian lebih lanjut untuk mencari teknik *switching* dengan harapan dapat memperbaiki daya output yang mensupply beban.

DAFTAR PUSTAKA

1. *"Rencana Umum Ketenagalistrikan Nasional 2008 – 2027"*, Departemen Energi dan Sumber Daya Mineral, Jakarta, Nopember 2008.
2. *"Blueprint Pengelolaan Energi Nasional 2006-2025"*, Departemen Energi dan Sumber Daya Mineral, Jakarta, 2006.
3. *"Indonesia Climate Change Sectoral Roadmap – ICCSR"*, Badan Perencanaan Pembangunan Nasional, Maret 2010.
4. S. Jain, V. Agarwal, " *A Single-Stage Grid Connected Inverter Topology for Solar PV Systems With Maximum Power Point Tracking*," *IEEE Trans. Power Electron.*, vol. 22, no. 5, pp. 1928-1940, Sep. 2007.
5. S. Jain, V. Agarwal, " *New current control based MPPT technique for single stage grid connected PV systems*", *Elsevier – Energy Conversion and Management* 48, pp. 625-644, 2007.
6. M. G. Villalva, J. R. Gazoli, E. Ruppert F. " *Modeling and Circuit-Based Simulation Of Photovoltaic Arrays*", *Brazilian Journal of Power Electronics*, Vol. 14, no. 1, pp. 35-45, Februari 2009.
7. S. Jain, V. Agarwal, " *Comparison of the performance of maximum power point tracking schemes applied to single-stage grid-connected photovoltaic systems*," *IET Electr. Power Appl.*, pp. 753–762, 2007.
8. Kenji Suzuki, " *Artificial Neural Networks-Methodological Advances and Biomedical Applications*," InTech, 2011.
9. Datasheet, " *bp solar, BP MSX 60*," BP Solar Global, 2002.
10. S. J. Chiang, Hsin-Jang Shieh, and Ming-Chieh Chen, " *Modeling and Control of PV Charger System With SEPIC Converter*", *IEEE Transactions on Industrial Electronics*, Vol. 56, No. 11, Nopember 2009.
11. Mumadi Veerachary, " *Two-Loop Controlled Buck-SEPIC Converter for Input Source Power Management*", *IEEE Transactions on Industrial Electronics*, `
12. Xiong Liu, Peng Wang, Poh Chiang Loh, Feng Gao, Fook Hoong Choo, " *Control of Hybrid Battery/Ulta-capacitor Energy Storage*